

# **Substratpräferenz und Mikrohabitat-Fauna-Beziehung im Eukrenal von Quellgewässern**

## **Dissertation**

zur

Erlangung der Würde eines Doktors der Naturwissenschaften

vorgelegt dem

Fachbereich Geographie der Philipps-Universität Marburg

von

**Martin Reiss**

aus Berlin (Deutschland)

Marburg, 2011

# Inhaltsverzeichnis

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Kapitel	Seite
<b>1. Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1 Begriffe und Definitionen	1
1.2. Forschungsstand	6
1.2.1 Hydrologie und Hydrogeologie von Quellgewässern	7
1.2.2 Gewässermorphologie von Quellgewässern	13
1.2.3 Das Substrat als gewässermorphologische Struktur und Lebensraum von Quellen	17
1.2.4 Hydrobiologie von Quellen	20
1.2.5 Aktueller Forschungsbedarf in der Quellökologie (Zusammenfassung)	26
1.3 Problemstellung und Ziele der Arbeit	27
<b>2. Untersuchungsgebiete</b>	<b>30</b>
2.1 Große Hardt (Kellerwald)	32
2.1.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung	32
2.1.2 Geologischer Untergrund und Relief	32
2.1.3 Böden	33
2.1.4 Klimatische Kennzeichnung	34
2.1.5 Vegetation	34
2.1.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung	35
2.1.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung	36
2.2 Nördlicher Burgwald	38
2.2.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung	38
2.2.2 Geologischer Untergrund und Relief	38
2.2.3 Böden	39
2.2.4 Klimatische Kennzeichnung	40
2.2.5 Vegetation	40



2.2.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung	41
2.2.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung	42
<b>2.3 Krofdorf-Königsberger Forst (Krofdorfer Forst)</b>	<b>43</b>
2.3.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung	43
2.3.2 Geologischer Untergrund und Relief	44
2.3.3 Böden	44
2.3.4 Klimatische Kennzeichnung	44
2.3.5 Vegetation	45
2.3.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung	45
2.3.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung	46
<b>2.4 Hoher Vogelsberg (Niddahänge)</b>	<b>47</b>
2.4.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung	47
2.4.2 Geologischer Untergrund und Relief	47
2.4.3 Böden	48
2.4.4 Klimatische Kennzeichnung	49
2.4.5 Vegetation	49
2.4.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung	50
2.4.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung	50
<b>2.5 Rhön (Schafstein)</b>	<b>51</b>
2.5.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung	51
2.5.2 Geologischer Untergrund und Relief	52
2.5.3 Böden	52
2.5.4 Klimatische Kennzeichnung	53
2.5.5 Vegetation	53
2.5.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung	53
2.5.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung	54
<b>2.6 Hainich</b>	<b>55</b>
2.6.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung	55
2.6.2 Geologischer Untergrund und Relief	56
2.6.3 Böden	56
2.6.4 Klimatische Kennzeichnung	57
2.6.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung	58
2.6.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung	58

<b>3. Untersuchungsansatz</b>	<b>60</b>
3.1 Untersuchungsprogramm	60
3.2 Räumlich-hierarchischer Ansatz	62
3.3 Integrativer Ansatz (landschaftsökologischer Ansatz)	66
3.4 Regionalspezifisch-gewässertypologischer Ansatz	68
 <b>4. Methoden</b>	 <b>69</b>
4.1 Erfassungsmethoden (Gelände)	69
4.1.1 Abiotische Standortanalyse	70
4.1.2 Biotische Standortanalyse	77
4.1.3 Kennzeichnung von Quellumfeld und Waldform	81
4.2 Externe Datenerhebung (Recherche)	83
4.3 Datenmanagement – Aufbereitung, Auswertung und Archivierung	83
 <b>5. Ergebnisse</b>	 <b>88</b>
5.1 Abiotische Kennzeichnung der Quellstandorte	88
5.1.1 Topographie und Relief	88
5.1.2 Vor-Ort-Analytik	93
5.1.3 Hydrologisch-gewässertypologische Kennzeichnung	103
5.1.4 Substrate und Gewässermorphologie	108
5.1.5 Habitattypen	120
5.2 Biotische Kennzeichnung der Quellstandorte	124
5.2.1 Pflanzen und Vegetation der Quellflur	124
5.2.2 Fauna - Allgemeine Übersicht nachgewiesener Taxa	126
5.2.3 Fauna - Ökologische Typisierung der Fauna	133
5.3 Umfeldnutzung und Waldstrukturen	155
5.4 Substrat- und Habitattypenpräferenz der Fauna	157
5.4.1 Substratpräferenz und Indikatoreigenschaften	157
5.4.2 Habitattypenpräferenz der Fauna	170

<b>6. Diskussion</b>	<b>175</b>
6.1 Faunazusammensetzung	175
6.2 Substrat-, Habitattyppräferenz und Indikatoreigenschaften	180
6.3 Diskussion des Untersuchungsansatzes und der Methodik	201
<b>7. Handlungsempfehlungen</b>	<b>204</b>
<b>8. Schlussfolgerungen und Zusammenfassung</b>	<b>207</b>
8.1 Schlussfolgerungen	207
8.2 Ausblick	210
<b>9. Zusammenfassung</b>	<b>212</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>214</b>
<b>Anhang</b>	<b>245</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. K1-1: Modell eines Quelleinzugsgebiets mit Schnittstellencharakteristik (Ökoton) einer Quelle	1
Abb. K1-2: Einordnung der Quellgewässer in das Forschungssystem der Limnologie	6
Abb. K1-3: Gewässermorphologisch basierte Quelltypen	14
Abb. K1-4: Anordnung von Quellen in Abhängigkeit des Reliefs	16
Abb. K1-5: Einfluss der Gewässermorphologie auf die Quellfauna	16
Abb. K1-6: Zusammensetzung des Krenozön (Quellgemeinschaft)	21
Abb. K1-7: Einordnung der Lage des Eukrenal innerhalb der Gewässerzonierung (Gewässersystem) und des Gewässernetzes	25
Abb. K1-8: Die wichtigsten ökologischen Verbreitungsfaktoren der Quellfauna	
Abb. K2-1: Lage der Untersuchungsgebiete und naturräumliche Gliederung Deutschlands	30
Abb. K2-2: Lage der Quellen im Kellerwald	32
Abb. K2-3: Lage der Quellen im Burgwald	38
Abb. K2-4: Lage der Quellen im Krofdorfer Forst	43
Abb. K2-5: Lage der Quellen im Vogelsberg (Niddahänge)	47
Abb. K2-6: Lage der Quellen in der Rhön (Schafstein)	51
Abb. K2-7: Lage der Quellen im Hainich	55
Abb. K3-1: Untersuchungsprogramm dieser Arbeit	62
Abb. K3-2: Einordnung von Quellgewässern und deren Kontext zum Einzugsgebiet in geowissenschaftlichen Hierarchieniveaus	63
Abb. K3-3: Räumlich-hierarchisches System für Quellen	64
Abb. K3-4: Untersuchungsansätze der Habitat-Fauna-Beziehung von Quellgewässern	65
Abb. K3-5: Wesentliche ökologische Komponenten in einem Quellgewässer-Einzugsgebiet	67
Abb. K4-1: Einteilung der Hangabschnitte	70
Abb. K4-2: 2-Schicht-Ansatz des Multi-Habitat-Samplings	75
Abb. K4-3: Ausschnitt aus dem Kartierbogen zur Substratkartierung	79
Abb. K4-4: Prinzip der Viertelkreissegment-Methode	82
Abb. K4-5: Übersicht zum Aufbau des Datenmanagements	84
Abb. K5-1: Lage der Quellen in den Untersuchungsgebieten	88
Abb. K5-2: Höhenlage der gesamten untersuchten Quellen	89
Abb. K5-3: Höhenlage der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet	90
Abb. K5-4: Geländeneigung der gesamten untersuchten Quellstandorte	90
Abb. K5-5: Geländeneigung der untersuchten Quellstandorte nach Untersuchungsgebiet	91
Abb. K5-6: Exposition der gesamten untersuchten Quellen	92
Abb. K5-7: Exposition der untersuchten Quellstandorte nach Untersuchungsgebiet	93
Abb. K5-8: Box-Whisker-Plot der Wassertemperatur aller untersuchten Quellen	94
Abb. K5-9: Box-Whisker-Plots der Wassertemperatur der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet	95
Abb. K5-10: Box-Whisker-Plot des pH-Wertes aller untersuchten Quellen	96
Abb. K5-11: Box-Whisker-Plots der pH-Werte der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet	97
Abb. K5-12: Box-Whisker-Plot der elektrischen Leitfähigkeit aller untersuchten Quellen	98
Abb. K5-13: Box-Whisker-Plots der elektrischen Leitfähigkeit der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet	99
Abb. K5-14: Box-Whisker-Plot des Sauerstoffgehaltes aller untersuchten Quellen	100
Abb. K5-15: Box-Whisker-Plots des Sauerstoffgehaltes der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet	101
Abb. K5-16: Sauerstoffsättigung aller untersuchten Quellen	102
Abb. K5-17: Sauerstoffsättigung aller untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet	102
Abb. K5-18: Beispiel einer Rheohelokrene im Krofdorfer Forst	104
Abb. K5-19: Beispiel einer Helolimnokrene im Burgwald	105
Abb. K5-20: Sondertyp einer (Karpaten-)Birkenwald-Moorquelle	106
Abb. K5-21: Schüttung der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet	108
Abb. K5-22: Mineralische Substrate der untersuchten Quellen	109
Abb. K5-23: Organische Substrate der untersuchten Quellen	110
Abb. K5-24: Vorkommen der mineralischen Substrattypen aller untersuchten Quelle (ohne Sondertyp)	111
Abb. K5-25: Vorkommen der organischen Substrattypen aller untersuchten Quelle (ohne Sondertyp)	112
Abb. K5-26: Vorkommen der mineralischen Substrattypen nach Untersuchungsgebiet (ohne Sondertyp)	113
Abb. K5-27: Vorkommen der organischen Substrattypen nach Untersuchungsgebiet (ohne Sondertyp)	113
Abb. K5-28: Mittlere Substratvielfalt der untersuchten Quellen (ohne Sondertyp, ohne künstliche Substrate) nach Untersuchungsgebiet	114
Abb. K5-29: Mittlere Substratvielfalt nach der Waldform aller untersuchten Quellen (ohne Sondertyp, ohne künstliche Substrate)	114
Abb. K5-30: Mittlere Substratvielfalt nach dem Quelltyp aller untersuchten Quellen (ohne Sondertyp, ohne künstliche Substrate) der repräsentativen Quelltypen	115
Abb. K5-31: Mittlere Deckungsgrade der mineralischen Substrattypen aller untersuchten Quellen (ohne Sondertyp)	116
Abb. K5-32: Mittlere Deckungsgrade der organischen Substrattypen aller untersuchten Quellen (ohne Sondertyp)	116
Abb. K5-33: Mittlere Deckungsgrade der mineralischen Substrattypen nach Untersuchungsgebiet (ohne Sondertyp)	117
Abb. K5-34: Mittlere Deckungsgrade der organischen Substrattypen nach Untersuchungsgebiet (ohne Sondertyp)	117
Abb. K5-35: Schema zur Klassifikation der Habitattypen	120
Abb. K5-36: Verteilung der Habitattypen nach Untersuchungsgebiete	122
Abb. K5-37: Übersicht zu den Weichwasser-Gesellschaften der Vegetation	124

Abb. K5-38: Tabellenübersicht der Vegetationsaufnahmen	126
Abb. K5-39a: Zusammensetzung der Fauna und Stetigkeitsklassen nach Untersuchungsgebiet	137
Abb. K5-39b: Zusammensetzung der Fauna und Stetigkeitsklassen nach Untersuchungsgebiet	138
Abb. K5-40: Box-Whisker-Plots der Diversitätsmaße (Shannon-Index) aller untersuchten Quellen	139
Abb. K5-41: Diversitätsmaße (Shannon- und Margalef-Index) und Evenness als Mittelwerte nach Untersuchungsgebiet	140
Abb. K5-42: Vergleich der Artzusammensetzung aller untersuchten Quellen	141
Abb. K5-43: Clusteranalyse der Fauna (mittlere Abundanz der Arten und Gattungen) nach Untersuchungsgebiet	142
Abb. K5-44: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen im Krofdorfer Forst	142
Abb. K5-45: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen im Kellerwald	143
Abb. K5-46: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen im Burgwald	143
Abb. K5-47: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen im Hainich	143
Abb. K5-48: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen in der Rhön (Schafstein)	144
Abb. K5-49: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen im Vogelsberg (Niddahänge)	144
Abb. K5-50: Anteil quelltypischer Arten/Gattungen nach Untersuchungsgebiet	147
Abb. K5-51: Korrelationskoeffizient zwischen Shannon-Index (links) und dem Anteil quelltypischer Arten (rechts) mit ausgewählten Standortparametern	148
Abb. K5-52: Hauptkomponentenanalyse unterschiedlicher Standortfaktoren	149
Abb. K5-53: Ernährungstypen nach Teilebensraum im Eukrenal der Quellgewässer	150
Abb. K5-54: Anteil der Waldform nach Untersuchungsgebiet	156
Abb. K5-55: Vereinfachte Darstellung der Substratpräferenz (nach Stetigkeitswerten) der Arten und Gattungen für die mineralischen Substrattypen	160
Abb. K5-56: Vereinfachte Darstellung der Substratpräferenz (nach Stetigkeitswerten) der Arten und Gattungen für die organischen Substrattypen	161

### Tabellenverzeichnis

Tab. K1-1: Gewässermorphologisch basierte Quelltypen	13
Tab. K1-2: Mineralische Substrate in Quellgewässern	18
Tab. K1-3: Anzahl aquatischer Tierarten aus verschiedenen systematischen Gruppen, die in Europa in Quellen, Bächen und Flüssen vorkommen	22
Tab. K2-1: Tabellarische Übersicht zu den Untersuchungsgebieten mit der Anzahl der jeweils untersuchten Quellen	31
Tab. K4-1: Räumlich-funktionales Erfassungskonzept	69
Tab. K4-2: Klassifizierung der Geländeneigung	70
Tab. K4-3: Verfahren zur Direktmessung	71
Tab. K4-4: Messungszeitraum der Vor-Ort-Analytik	71
Tab. K4-5: Klassifizierung der Schüttung nach Schätzung	72
Tab. K4-6: Nomenklatur und Einteilung der mineralischen Substrate	74
Tab. K4-7: Nomenklatur und Einteilung der organischen Substrate	74
Tab. K4-8: Transformation und Klassifikation der mittleren Deckungsgrade der Substrate	76
Tab. K4-9: Gefährdungsparameter der Gewässermorphologie	76
Tab. K4-10: Einteilung der Deckungsgrade und Artmächtigkeiten der Vegetation	78
Tab. K4-11: Übersicht zur Probenahme-Methode im Einzelfall (substratabhängige Probenahme)	78
Tab. K4-12: Übersicht der Bestimmungsliteratur zur Determination der Fauna in Eigenleistung	81
Tab. K4-13: Einschätzung der Güte einer nMDS (Ordination)	87
Tab. K5-1: Übersicht zur Wassertemperatur der Quellen nach Untersuchungsgebiet	94
Tab. K5-2: Klassifizierung des pH-Wertes der Quellen im Burgwald	96
Tab. K5-3: Arealgröße aller untersuchten Quellen	103
Tab. K5-4: Quelltypen nach Austrittsform aller untersuchten Quellen	104
Tab. K5-5: Geländeform der untersuchten Quellen	107
Tab. K5-6: Schüttung der untersuchten Quellen	107
Tab. K5-7: Verhältnis aquatischer zu amphibisch/terrestrisch-hygrophiler Bereich im Eukrenal nach Untersuchungsgebiet	118
Tab. K5-8: Hygropetrische Bereiche im Eukrenal in ihrer Flächenausprägung (Abschätzung) nach Untersuchungsgebiet	118
Tab. K5-9: Verteilung der Habitattypen auf alle untersuchten Quellen	122
Tab. K5-10: Verteilung der differenzierten Habitattypen auf alle untersuchten Quellen	123
Tab. K5-11: Individuen (Fauna) nach Untersuchungsgebiet	126
Tab. K5-12: Anzahl unterschiedlicher Taxa nach Untersuchungsgebiet	127
Tab. K5-13: Arten und Gattungen nach Stetigkeit und Abundanz	134-135
Tab. K5-14: Taxa nach Stetigkeit und Untersuchungsgebiet	136
Tab. K5-15: SIMPER -Analyse der untersuchten Quellen (Gesamt)	141
Tab. K5-16: SIMPER -Analyse für den Krofdorfer Forst	145
Tab. K5-17: SIMPER -Analyse für den Kellerwald	146
Tab. K5-18: SIMPER -Analyse für den Burgwald	146
Tab. K5-19: SIMPER -Analyse für den Hainich	146
Tab. K5-20: SIMPER -Analyse für den Schafstein (Rhön)	146
Tab. K5-21: SIMPER -Analyse für die Niddahänge (Vogelsberg)	147
Tab. K5-22: Anteil krenobionter und krenophiler Arten/Gattungen (= quelltypische Arten/Gattungen) nach Untersuchungsgebiet	147
Tab. K5-23: Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse	149
Tab. K5-24: Ernährungstypen der ausgewerteten Gattungen und Arten mit Ernährungstypenvalenzwerten	151

Tab. K5-25: Zuordnung krenobionter Taxa in Faunabereich und Gefährdungsstatus	153
Tab. K5-26: Zuordnung krenophiler Taxa in Faunabereich und Gefährdungsstatus	153
Tab. K5-27: Zuordnung krenophil bis rhithrobionter Taxa in Faunabereich und Gefährdungsstatus	153
Tab. K5-28: Zuordnung rhithrobionter Taxa in Faunabereich und Gefährdungsstatus	154
Tab. K5-29: Zuordnung eurytoper Taxa in Faunabereich und Gefährdungsstatus	154
Tab. K5-30: Zuordnung sonstiger Taxa (Zuordnung nicht geklärt) in Faunabereich und Gefährdungsstatus	154
Tab. K5-31: Anzahl und Verteilung der Landnutzung nach Waldform und Viertelkreissegment	155
Tab. K5-32: Dominierende Baumarten in den Viertelkreissegmenten (n=608) aller untersuchten Quellstandorte	155
Tab. K5-33: Klassifizierung der Substratpräferenz	157
Tab. K5-34: Übersicht zur Substratpräferenz der bestimmten Gattungen und Arten (alphabetisch) nach ihrer Stetigkeit	158
Tab. K5-35: Verteilung der Insekten-Gattungen und -Arten auf das Stadium Imago und Larve	159
Tab. K5-36: Indikatoreignung der Taxa zur Repräsentanz der Substratpräferenz	162
Tab. K5-37: Substratpräferenz der Arten und Gattungen nach aggregierten Klassen	163
Tab. K5-38: Übersicht zur Substratpräferenz nach Klasse, Ordnung und Familie	164-167
Tab. K5-39: Substratpräferenz der Familien nach aggregierten Klassen	168
Tab. K5-40: Substratpräferenz der Ordnungen nach aggregierten Klassen	169
Tab. K5-41: Habitatpräferenz der Arten und Gattungen nach aggregierten Habitattypen	170
Tab. K5-42: SIMPER-Analyse für den Habitattyp Of	171
Tab. K5-43: SIMPER-Analyse für den Habitattyp Og	171
Tab. K5-44: SIMPER-Analyse für den Habitattyp Of-g	172
Tab. K5-45: SIMPER-Analyse für den Habitattyp Mf	172
Tab. K5-46: SIMPER-Analyse für den Habitattyp Mg	172
Tab. K5-47: Habitatpräferenz der Arten und Gattungen nach detaillierten Habitattypen	173
<hr/>	
Tab. K6-1: Ernährungstypen und Nahrungsquelle	188
Tab. K6-2: Übersicht zu den Funktionen der Mikrohabitate nach Gattung und Art	195
Tab. K6-3: Indikatoreignung zur Substratpräferenz der Gattungen und Arten	196

## 1. Grundlagen

### 1.1 Begriffe und Definitionen

#### Quelle

Die etymologische Bedeutung des Wortes *Quelle* ist nach dem Deutschen Wörterbuch der Brüder Grimm erst durch Martin Luther im Neuhochdeutschen geläufig, wobei *quellen* so viel wie *wallend* oder *sprudelnd zum Vorschein kommen* bedeutet und aus der lateinischen Übersetzung des Wortes *scaturire*, also *hervorsprudeln* abgeleitet ist (GRIMM, GRIMM & BARTZ 2004).

Quellen sind hydrologisch betrachtet „örtliche natürliche Austritte des Grundwassers“ (STINY 1933:95) an die Erdoberfläche (DIN 1994, VAN EVERDINGEN 1991). Eine Definition die KRESIC (2010) wie folgt zusammenfasst:

„A spring is a location at the land surface where groundwater discharges from the aquifer, creating a visible flow“ (KRESIC 2010:31).

#### Grundwasser – Quellen als Grundwasseraustritte (Quellentypologie)

Grundwasser füllt als unterirdisches Wasser die Hohlräume zusammenhängend aus und bildet somit die gesättigte Zone, in der sich das Grundwasser sickerungsgehemmt durch Grundwassernicht- und Grundwassergeringleiter (Aquifugen und Aquicluden) im Grundwasserleiter (Aquifer) anreichert (Grundwasserneubildung) und bewegen kann (MATTHEß & UBELL 1983).

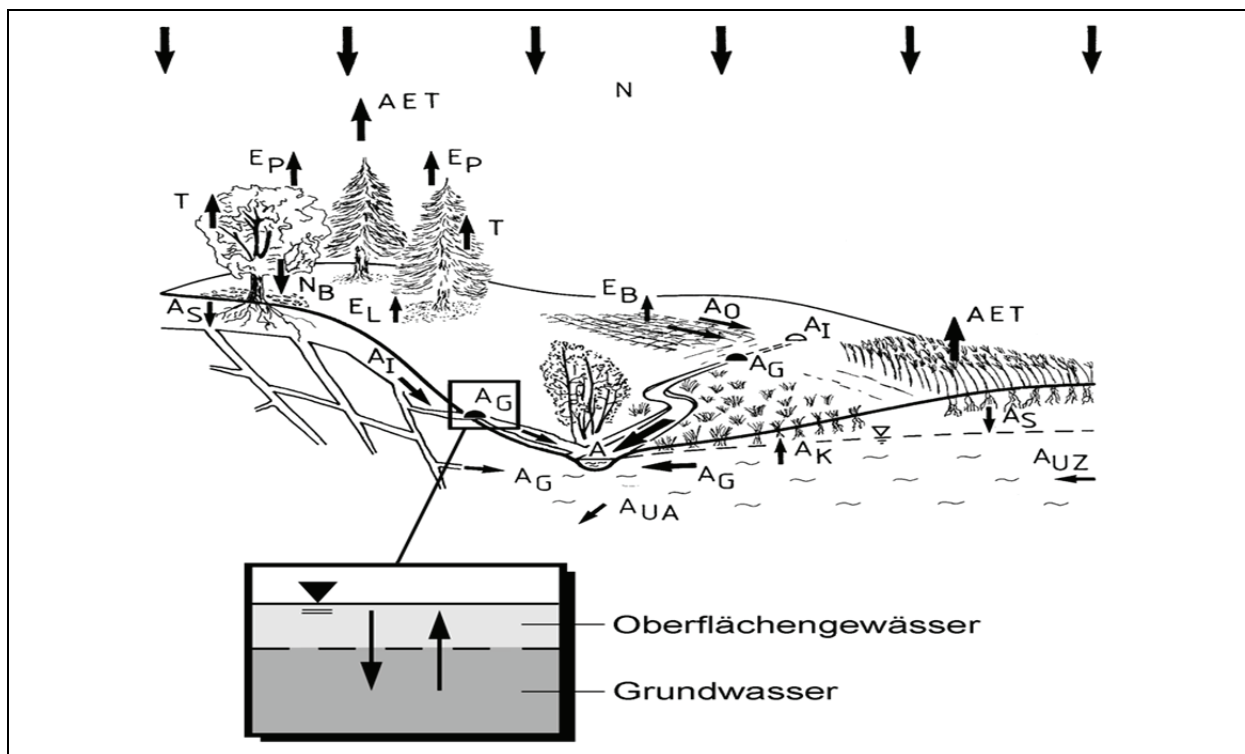


Abb. K1-1: Modell eines Quelleinzugsgebiets mit Schnittstellencharakteristik (Ökoton) einer Quelle. Darstellung aus WOHLRAB ET AL. (1992), verändert und ergänzt. Abkürzungen: A: Abfluss im Gerinne, AET: Evapotranspiration, AG: Grundwasserabfluss, AI: Interflow, AK: Kapillarer Aufstieg, AO: Oberflächenabfluss, AS: Sickerung, AUA: Grundwasserabstrom, AUZ: Grundwasserzustrom, EB: Bodenenevaporation, EL: Streuevaporation, EP: Pflanzenevaporation, N: Niederschlag, NB: Bestandesniederschlag, T: Transpiration

Quellen werden als der Beginn eines Oberflächengewässers aufgefasst und tragen somit zur Speisung von Fließ- und Standgewässern bei, so dass die hydrologische Besonderheit in ihrer Schnittstellencharakteristik zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer liegt. In Abb. K1-1 wird zudem deutlich, dass Quellen ein integraler Bestandteil im Landschaftswasserhaushalt sind und nach der jeweiligen Landnutzung (z.B. Wald, Wiese, Acker) als „eine Art Trichterauslass ihrer Einzugsgebiete angesehen werden“ (BEIERKUHNLEIN & GOLLAN 1999:1) sowie zur Beobachtung (Umweltmonitoring) von Stoffflüssen und Umweltbelastungen im lokalen Wasserkreislauf von Bedeutung sind.

Die punktuelle natürliche Austrittsform des Grundwassers an die Erdoberfläche wird in der Literatur häufig als Abgrenzungskriterium zu flächenhaft natürlichen Grundwasseraustritten sowie zur künstlich-technischen Grundwassererschließung durch Brunnen angesehen. Es existiert allerdings eine Begriffsvielfalt in der hydrogeologischen und hydrologischen Literatur, die in der Abgrenzung von Grundwasseraustrittsformen uneinheitlich und in der Typisierung mannigfach erscheint. HÖLTING & COLDEWEY (2009) und MÜLLER (1999) definieren Grundwasserblänken als flächenhafte Grundwasseraustritte, die in Geländesenken einen Wasserspiegel ausbilden und keinen erkennbaren oberirdischen Zu- und Abfluss haben. Nassstellen oder Nassgallen sind flächenhafte Grundwasseraustritte pleistozäner Schuttdecken (HÖLTING & COLDEWEY 2009, LAWA 1995, WOHLRAB ET AL. 1992). Nassstellen oder Nassgallen bezeichnen HÖLTING & COLDEWEY (2009) auch als Hangschuttquellen, da ein punktueller Austritt durch überdeckende Schuttmassen einen flächenhaften Austritt vortäuscht (auch Folgequelle genannt; siehe LAWA 1995). Quellen, die in Bezug zu periglazialen Blockgletschermassen der Niederen Tauern (Österreich) stehen, bezeichnen UNTERWEG & SCHWENDT (1994) als Blockgletscherquellen und sehen in der Terminologie einen eigenständigen hydrologischen Quelltyp. Die AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997) verweist darauf, dass es für die hydrogeologische Quellenkartierung in Deutschland keine allgemein verbindliche Nomenklatur für Quelltypen gibt, geben jedoch einen Vorschlag für eine einheitliche hydrogeologische Systematik, nach ihrem unterirdisch hydraulischen Quellmechanismus (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE 1997). Hydraulisch lassen sich zwei physikalische Typen in absteigende Quellen (Auslaufquelle) und aufsteigende Quellen (Überlaufquelle) unterscheiden (LAWA 1995 nach KEILHACK 1912, STINY 1933). Die Einteilung beruht auf den Druckverhältnissen des Grundwasserleiters, insofern handelt es sich bei absteigenden Quellen um ungespanntes Grundwasser und bei aufsteigenden Quellen um gespanntes Grundwasser (HÖLTING & COLDEWEY 2009). Hiernach ergeben sich grundlegende hydrologische Eigenschaften, die sich vor allem im Schüttungsverhalten zeigen. Absteigende Quellen sind meist durch höhere Schüttungsschwankungen gekennzeichnet, aufsteigende Quellen hingegen durch ausgeglichene Amplituden, d.h. geringe Schüttungsschwankungen (LAWA 1995). Eine besondere Form der aufsteigenden Quellen sind artesischen Quellen oder Sprudelquellen, die vor allem in Senkungs- bzw. Beckenlagen unter hohem hydrostatischem Druck Wasseraustritte verursachen (MATTHEß & UBELL 1983). Entgegen den einführend dargestellten Definitionen, dass Quellen Grundwasseraustritte an die Erdoberfläche sind, werden nach AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997) unterirdische Grundwasseraustritte (*Wasserzutritt unter Tage*) ebenfalls in den Kontext des Quellbegriffs gestellt. Dieser Auffassung folgen auch SPRINGER & STEVENS (2009) in ihrem hydrogeologisch-ökologischen Ansatz, Quellen als Ökosystem und somit als Lebensraum aufzufassen. Ihre Definition von Quellen lautet: „Springs are ecosystems in which groundwater reaches the Earth's surface either at or near the



land-atmosphere interface or the land-water interface“ (SPRINGER & STEVENS 2009:83).

Weitere hydrogeologische Einteilungskriterien richten sich meist nach dem Gestein des Aquifers und in wie weit lithologische Bedingungen den Quellaustritt beeinflussen. Die Einteilung erfolgt nach AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997, nach LAWA 1995 ergänzt) wie folgt:

- Quellaustritt aus Festgestein
  - Austritt auf Schichtfläche (Schichtquelle)
  - Austritt auf Kluft, Spalte (Kluftquelle)
  - Austritt aus Karstgerinne (Karstquelle)
- Quellaustritt aus Lockergestein
  - Austritt auf Schichtfläche (Schichtquelle)
  - Austritt an der Sohle eines oberirdischen Gewässers (Grundquelle)
  - Austritt aus Hangschuttmassen oder Schwemmkegeln (Hangschuttquelle, Folgequelle).

Eine Quelle muss nicht zwangsläufig den Beginn eines Fließgewässers darstellen, d.h. ein Quellbach kann an einem oberirdischen Wasseraustritt fehlen. CUSHING & GAINES (1989) sowie KELLER (1961) bezeichnen solche Wasseraustritte als endorheische Quellen (abflusslose Quellen), WILHELM (1956) als Infiltrationstyp. Quellen ohne nennenswerten Abfluss in ein Fließgewässer nennt F. Nöhling Initialquelle (nach einer mdl. Mitteilung in MATTHEß & UBELL 1983). Endorheische Quellen werden nach ZOLLHÖFER (1997) hauptsächlich aus Bodenwasser gespeist ( $A_i$  in Abb. K1-1). Unklar bleibt bei der Terminologie abflussloser Quellen die Abgrenzung zum *return flow*, also Wasser, welches aus dem hypodermischen Abfluss (*interflow*) stammt und an die Oberfläche austritt (MENDEL 2000).

### Limnologische Kennzeichnung – Quellen als Lebensraum

Der Quellbereich als räumliche Einheit ist das *Krenal*, das in *Eukrenal* (Quelle) und *Hypokrenal* (Quellbach) untergliedert werden kann (ILLIES 1952, ILLIES 1961, ILLIES & BOTOSANEANU 1963). Bereits STEINMANN (1907, 1915) hat in einer ersten limnologischen Quelltypologie den eigentlichen Grundwasseraustritt als Quelle und den anschließenden Quellbach als Quellrinnsal bezeichnet, allerdings ohne abiotische oder biozönotische Abgrenzungsmerkmale zu kennzeichnen. Als abiotisches Unterteilungsmerkmal wird in der Literatur häufig die Wassertemperatur herangezogen (WARD 1994, HEBAUER 1983). KRÜGER (1995) zählt neben dem Eu- und Hypokrenal als aquatische Längszonierung das terrestrische Quellumfeld (z.B. Wald, Feuchtwiesen, Moor) mit zum Quellbereich. In diesem Zusammenhang ist der Begriff des (grund-)wasserabhängigen (Land-)Ökosystems zu sehen (KONOLD 2007). So werden z.B. Quellwälder (Erlen- und Eschenwälder) mit flächenhaft diffusen Quellaustritten (Helokrenen) als primäre Landökosysteme in die abiotischen und biotischen Beziehungen zum Grundwasser gebracht. Sie können demnach als aquatischer Grenzlebensraum betrachtet werden und sind folglich Gegenstand der Wasserwirtschaft (KONOLD 2007, LENKENHOFF & ROSE 2002; aquatisch-terrestrische Ökotope siehe NAIMAN & DÉCAMPS 1990).

Die Organismengemeinschaft einer Quelle wird als *Krenon* bezeichnet (ILLIES & BOTOSANEANU 1963, welche als Abgrenzungskriterium der Fließgewässerlängszonierung, dem Rhithron gegenüber steht, also der Lebensgemeinschaft der Bachoberläufe (ILLIES 1961). *Krenon* bedeutet *das zur Quelle Gehörige* (NEHRING & ALBRECHT 1997). Organismen mit einer engen Habitatbindung zum Eukrenal werden als Kreno-

bionten bezeichnet (FISCHER 1996). Quellen sind Inselhabitate, so dass zahlreiche Krenobionten als Relikt- oder Refugialarten anzusehen sind (BOTOSANEANU 1995). So ist ihre jetzige Quellbindung ein Ausdruck langfristig veränderter Umweltbedingungen. Beispiele hierfür sind Glazialrelikte wie die Art *Crenobia alpina* (Alpenstrudelwurm) oder Arten der Gattung *Bythinella* (Quellschnecke), deren heutiges Hauptverbreitungsgebiet auf boreale Regionen und Höhenstufen (oreotundral) beschränkt sind. Im Pleistozän besiedelten diese Taxa in Zentraleuropa möglicherweise flächenhaft periglaziale Gebiete (BRÄNDLE ET AL. 2007, BENKE ET AL. 2009).

Eine Kennzeichnung, welcher Teilbereich im Krenal (Eu-/Hypokrenal) untersucht wurde, wie es WILLIAMS & WILLIAMS (1996) einfordern, findet in quellökologischen Studien nicht konsequent statt (VON FUMETTI, NAGEL & BALTES 2007). Rückschlüsse auf die Besiedlung von Habitaten sind daher kritisch zu lesen und zu interpretieren (ERMAN & ERMAN 1995). Allerdings ist die räumliche und biozönotische „Grenzziehung“ zwischen Eukrenal und Hypokrenal sowie der Quellen gegenüber ihrem Umfeld in der Praxis als ungelöst anzusehen: „Unfortunately, the boundary of the spring area is an open question that mostly can be evaluated from a subjective point of view only, because springs are highly heterogeneous, much more than other small habitats“ (SPITALE 2007:33). Die bereits angesprochene hydrologische Schnittstellencharakteristik von Quellen zeigt sich auch bei der Kennzeichnung von Quellen als Lebensraum der Süßwasserfauna (WILLIAMS 1991). Quellen sind Ökotope zwischen der Fauna des Grundwassers und des Oberflächengewässers. Quellen (Eukrenal) sind ökologisch eigenständige Gewässertypen und werden neben das Grundwasser und die oberirdischen Fließ- und Standgewässer des Binnenlandes gestellt (SCHÖNBORN 2003), zumal sie weder den Fließ- noch den Standgewässern eindeutig zuzuordnen sind (BEIERKUHNLEIN & GOLLAN 1999). Dafür steht die Verwendung des Begriffs *Quellgewässer* in dieser Arbeit. Vor allem durch die hydrologische Schnittstellencharakteristik ergeben sich Unterschiede zu anderen Ökosystemen, deren Ursache in einer vielfältiger Ausgestaltung von Mikrohabitaten zu sehen sind: „the physical geomorphic template allows some springs to support numerous microhabitats and large arrays of aquatic, wetland, and terrestrial plant and animal species; yet, springs ecosystems are distinctly different from other aquatic, wetland, and riparian ecosystems“ (SPRINGER & STEVENS 2009:83).

### Habitat, Mikrohabitat und Substrat

Das Habitat ist die „Konzentrationsstelle einer Art, die sich innerhalb eines größeren Biotops [...] scharf hervorhebt, von den Gesamtbedingungen desselben jedoch in seiner Artenzusammensetzung weitgehend abhängt“ (NEHRING & ALBRECHT 2000:78). Die etymologische Ableitung des Begriffs Habitat ergibt sich aus dem lateinischen Verb *habitare* und bedeutet *wohnen* oder *heimisch sein* (NEHRING & ALBRECHT 2000), so das auch von der Adresse (BICK 1999) oder der Anschrift (ODUM 1971) einer Art gesprochen wird. Die Lebensstätte der Individuen einer Art bezeichnet SCHWERDTFEGER (1979) als Monotop. Die Anzahl der Arten in einem Habitat ist die  $\alpha$ -Diversität, die strukturelle Vielfalt bzw. die Anzahl unterschiedlicher Kleinhabitate wird als  $\beta$ -Diversität bezeichnet (SMITH & SMITH 2009). Das Habitat wird nicht ausschließlich als raumspezifischer Ort aufgefasst, sondern auch als ein Komplex aus Eigenschaften die ein solcher Ort haben kann (SOUTHWOOD 1977). Diese raumbezogenen Funktionen beschreibt HUTCHINSON (1957) als mehrdimensionale *ökologische Nische* und TOWNSEND, BEGON & HARPER (2009) betonen hierin die begriffliche Abgrenzung zum Habitat. Demnach gibt die Nische an, wie eine Art lebt und das Habitat gibt an, wo eine Art lebt (TOWNSEND, BEGON & HARPER 2009). Eine Habitatselektion kann also durch das Einnischen einer Art beschrieben werden, wenn die ökologische Nische

als die Gesamtheit der Toleranzeigenschaften und Bedürfnisse eines Lebewesens definiert ist (JUNGWIRTH ET AL. 2003). Allerdings wird auch der Begriff der Nische sehr unterschiedlich benutzt. Eine Übersicht hierzu geben WHITTAKER & LEVIN (1975). Eine klare Abgrenzung des Habitatbegriffs ist schwierig, zu mal die Habitatselektion von Arten in der ökologischen Modellierung zum Verständnis autökologischer Präferenzen mit Hilfe von *habitat templates* erfolgt und Lebensraumeigenschaften (Funktionen) vom physischen Lebensraum (Orten) nicht entkoppelt betrachtet werden (TOWNSEND & HILDREW 1994). Dies charakterisiert die Definition des Habitats nach MORRISON, MARCOT & MANNAN (2006:10): „Habitat [...] is an area with a combination of resources (like food, cover, water) and environmental conditions (temperature, precipitation, presence or absence of predators and competitors) that promotes occupancy by individuals of a given species (or population) and allows those individuals to survive and to reproduce“. Ein Bestandteil des Habitats ist das Mikrohabitat, allgemein der Kleinlebensraum einer Art und ein spezieller Strukturtyp des Habitats (NEHRING & ALBRECHT 2000) im Sinne eines Teilhabitats (KLEYER ET AL. 1999/2000). REMANE (1940) nennt kleinste Strukturelemente die einen Teillebensraum darstellen Merotop. In der englischsprachigen gewässerökologischen Literatur finden sich die Begriffe *microhabitat* und *substratum*, wobei man letzteres der lateinischen Wortbedeutung nach, als *das kleinste Hingebrachte* übersetzen kann (NEHRING & ALBRECHT 2000). Das „Substratum“ ist im Deutschen das *Substrat*, als lateinisches Kompositum von *sub* (*unterhalb*) und *sternere* (*auf den Boden gelegt*) und somit zusammen gesetzt als *unterste Schicht* übersetzt werden kann. Das Substrat ist damit das Material oder die Substanz auf der ein Organismus vorkommt (= Fundort), wobei noch nicht geklärt ist, warum eine Art ein Substrat als Habitat aufsucht (Habitatwahl, Habitatbindung zur Nahrungsaufnahme, Reproduktion, Versteck etc.). Allerdings können Substrate Habitatfunktionen besitzen und sind demnach „habitatwirksame Strukturen [...], die für eine Gruppe von Arten Bedeutung besitzen“ (BASTIAN 1991:58).

### **Substrat- und Artenvielfalt – Herausforderung Individualität von Quellen**

Gemäß der *habitat diversity hypothesis* nach LACK (1969) führt eine Zunahme der Vielfalt von Mikrohabitaten zu einer Erhöhung der Artenvielfalt (STAUDACHER & FÜREDER 2007). Die Habitatheterogenität bzw. Substratunterschiede und damit verbunden die Individualität von Quellen wird in der Ökologie als *patchiness* bezeichnet (TOWNSEND, BEGON & HARPER 2008). Arten können aufgrund einer engen Habitatbindung und der Inselhaftigkeit von Quellen entsprechende Verbreitungsbarrieren oder Hindernisse erfahren, wenn sie den *patch* wechseln (*patch dynamics*; TOWNSEND 1989, WHITE & PICKETT 1985), je nach räumlicher Distanz und Quellendichte in einem oberirdischen Einzugsgebiet, aber auch nach der Verbindung zum Grundwasserleiter und dessen Anschluss zu anderen Aquiferen (stygobionte Fauna). Diese *naturally patchy distribution* (GATHMANN, MANNE & WILLIAMS 2009) von Quellgewässern kann die Artzusammensetzung von Quelllebensgemeinschaften beeinflussen (GOOCH & GLAZIER 1991). Aufgrund dieser Individualität möglicher Kompositionen von Artzusammensetzungen einer Lebensgemeinschaft sowie deren abiotische Merkmalskonstellation wurde der Satz geprägt: „Jede Quelle ist anders“ (LAUKÖTTER 1994:11). Und dennoch sollte die wissenschaftliche Herausforderung darin bestehen, mögliche Zusammenhänge zwischen abiotischen und biotischen Merkmalen - möglichst gemeinsam (integrativ) - zu erkennen. Ein solches Verständnis hätte zudem einen effektiven Nutzen für die naturschutzfachliche Praxis.

## 1.2. Forschungsstand

Quellen sind im Vergleich zu anderen Gewässern des Binnenlandes gewässerökologisch wenig erforscht (CANTONATI, GERECKE & BERTUZZI 2006, VAN DER KAMP 1995, WARD 1994). Lag der Focus zunächst in der Beschreibung und Dokumentation der Verbreitung bestimmter, weniger bzw. Ausgewählter Taxa, so ist eine umfassende ökologische Systembetrachtung erst seit Beginn der 1990er Jahre ein Thema in Publikationen (CANTONATI 2007).

Einen Abriss zum **historischen Ablauf der Quelforschung** geben WILLIAMS & WILLIAMS (1998), den die Autoren in drei Forschungsansätze (Studien) gliedern:

- 1) von einander getrennte Studien zu Populationen und Biozönosen einzelner Quellen;
- 2) Studien zur Taxonomie ausgewählter aquatischer Wirbelloser;
- 3) wenige regionalspezifische Studien zur Biogeographie von Flora und Fauna.

Erste biologische Untersuchungen von Quellen, welche die Frage nach Zusammenhängen zwischen abiotischen Faktoren des Lebensraumes und der Besiedlung von Arten und Lebensgemeinschaften stellen, wurden von THIENEMANN (1906, 1922, 1926) in Norddeutschland sowie von STEINMANN (1907, 1908) und BORNHAUSER (1912) in den Alpen und im Alpenvorland durchgeführt. Die Arbeiten fallen zeitlich mit der Etablierung der modernen Limnologie zusammen<sup>1</sup>, also im Bewusstsein, dass „der Wasserkreislauf in der Natur nicht nur Seen entstehen lässt, sondern gleichermaßen auch Grundwasser, Quellen, Fließgewässer und kleine Stillgewässer“ (SCHÖNBORN 2003:6).

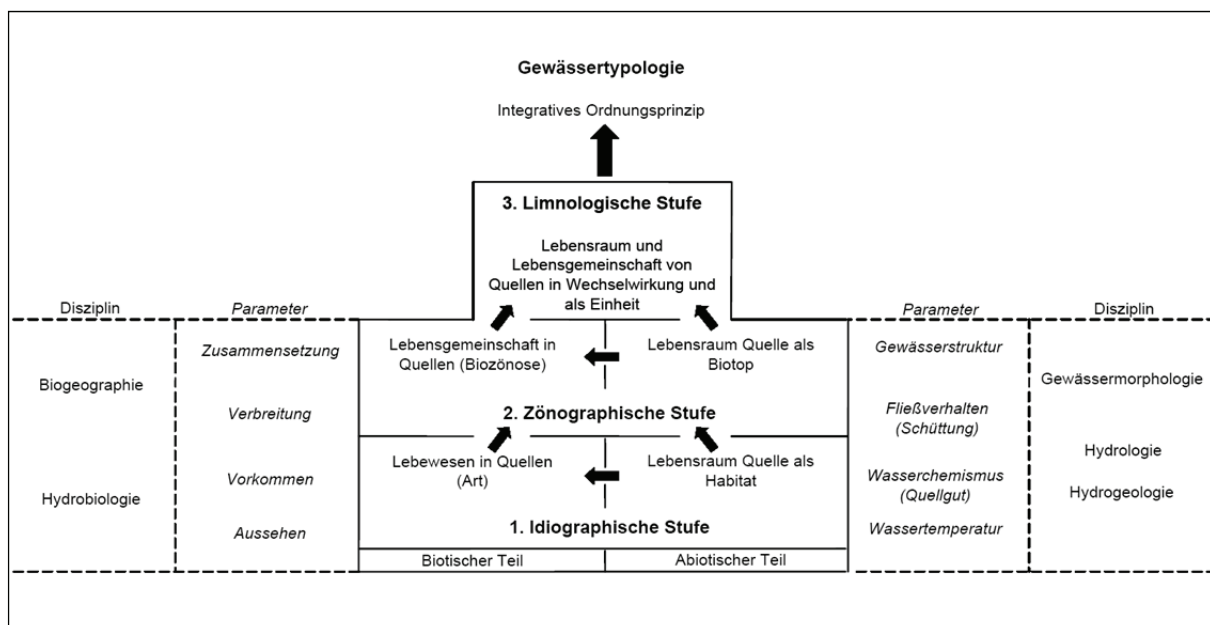


Abb. K1-2: Einordnung der Quellgewässer in das Forschungssystem der Limnologie nach THIENEMANN 1925. Eigene Darstellung

<sup>1</sup> 1922 wurde in Kiel die Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie (IVL) gegründet. Diese Gründung stellt Schönborn (2003) in Zusammenhang mit der Neuausrichtung der Limnologie, von einer ursprünglich reinen „Seenkunde“ hin zu einer „Binnengewässerkunde“, welche die Lehre vom Haushalt (Stoff- und Energiehaushalt) der Natur (Ökologie) integriert.

Ein holistischer oder integrativer Ansatz ist in der quellökologischen Forschung nicht immer konsequent verfolgt worden. So erscheint das fachspezifische Interesse am Forschungsobjekt Quelle mit disziplinen-eigenen Fragestellungen und Untersuchungsmethoden eher als Regel, denn als Ausnahme. Deshalb sollte eine Übersicht zum Forschungsstand der Quellökologie auch einzelne Teilgebiete wie Gewässermorphologie, Hydrogeologie, Hydrologie und Hydrobiologie mit einbeziehen, wenn ein Kenntnisstand über die Beziehung zwischen abiotischen und biotischen Faktoren gegeben werden soll. Im Sinne der drei Stufen der limnologischen Forschung (THIELEMAN 1925, Abb. K1.2) sollten möglichst alle Ebenen der gewässerökologischen Forschung abgebildet werden.

Aufgrund der Individualität von Gewässern (*Individual-Konzept* vgl. SCHÖNBORN 2003), die sich aus der Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten abiotischer und biotischer Faktoren ergibt, ist jede Fachdisziplin daran interessiert, bestimmte Ordnungsprinzipien, also eine Systematik von Quelltypen, zu erstellen (MEHL & THIELE 1998). Vor diesem Hintergrund ergibt sich die folgende Einteilung der weiteren Unterkapitel 1.2.1 bis 1.2.4. Zum einen soll ein Überblick zur fachspezifischen Begriffs- und Typologievielfalt gegeben werden, zum anderen der hierbei gewonnene Erkenntnisgewinn zum Verständnis des limnischen Ökosystems Quelle wiedergegeben werden. Dazu wird der Kenntnisstand zu den wichtigsten Parametern abiotischer und biotischer Faktoren (Abb. K1-2) sowie die Auswirkung abiotischer Umweltbedingungen auf den biotischen Teil von Quellökosystemen im folgenden nach Fachdisziplin gegliedert behandelt.

### 1.2.1 Hydrologie und Hydrogeologie von Quellgewässern

#### Schüttung

Der Abfluss ist eine zentrale Wasserhaushaltskomponente der quantitativen Hydrologie und wird als Quellschüttung (in l/s oder m<sup>3</sup>/s), insbesondere bei Trockenwetterabfluss zur Kennzeichnung des Grundwasserabflusses an Quellen herangezogen (BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996). Durch die hydraulische Beziehung zum Grundwasser können mengenbezogene Aussagen zur Grundwasserneubildung und des Wasserdargebots des Aquifers an Quellen ermittelt werden (MANGA 1999, MEMON 1995). Quelltypologisch können vier Arten von Quellen nach der (jährlichen) Schüttungsdauer unterschieden werden (nach AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE 1997, LAUKÖTTER 1994 in Klammern):

- ständig schüttend (perennierende Quellen)
- periodisch schüttend
- episodisch schüttend (episodische Quellen)
- zeitweise schüttend (intermittierende Quellen)

Eine weitere Möglichkeit der Typisierung kann anhand der Mengenermittlung durch Schüttungsmessungen vorgenommen werden, wobei MEINZER (1927) auf den regionalen Charakter der Quantität des Abflusses und der Quellschüttungsschwankungen hinweist, der eine überregionale Vergleichbarkeit erschwert. HOFFSTEN & MALMQVIST (2000) haben am Beispiel von Quellen in Zentral-Schweden eine Schüttungsklassifizierung (1, 5, 10, 20 und 50 Liter pro Sekunde) vorgenommen. VON FUMETTI ET AL. (2006) leiten nach (einer nicht näher erläuterten) Kalibrierung aus Schüttungsmessungen eine Schüttungsklassifizierung (<1, >1 bis <5, >5 bis <20, >20 Liter pro Sekunde) für Quellen der Nordwest-Schweiz ab. Vor allem in verkarstungsfähigem Gestein sind unter den episodisch schüttenden Quellen meist sehr hohe quantitative



Schüttungsschwankungen zu verzeichnen (HUANG ET AL. 2006, GÜNTHER 2001, BURG & HEATON 1998, EBHARDT 1980, MEINZER 1927), so dass es sinnvoll erscheint, für Karstquellen eigene regionale Klassifikationen zu erarbeiten. Mittels Berechnung von Schüttungsquotienten aus Niedrigst- und Höchstwert jährlicher Messreihen können Aussagen zur Speicherkapazität von Grundwasserleitern getroffen werden. Niedrige Schüttungsquotienten bedeuten längere Durchsickerungszeiten und höhere Speicherkapazität, hohe Schüttungsquotienten bedeuten kürzere Durchsickerungszeiten und geringere Speicherkapazität (HÖLTING & COLDEWEY 2009). Durch langfristige, kontinuierliche Quellschüttungsmessungen lassen sich hydrologische Trocken- und Nassjahre aufzeigen (SOBOTH 1978). Die Bedeutung der Waldbedeckung in Quelleinzugsgebieten für den Schüttungshaushalt von Quellen zeigt, dass mit Abnahme der Baumbestockung der Abfluss erhöht wird (HUANG ET AL. 2006). In den schottischen Mittelgebirgen (Cairngorm Mountains) weisen SOULSBY ET AL. (1999) eine Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung der gelösten Inhaltsstoffe durch saisonale Schüttungsschwankungen und der Schneeschmelze nach. BURG & HEATON (1998) können aufgrund unterschiedlicher Schüttungsverhältnisse keine Veränderungen in der Nitratkonzentration des Quellwassers finden. Sehr stark schüttende Karstquellen der USA zeigen einen geringen Mineralgehalt (MEINZER 1927).

Die Schüttungsdauer und die Variabilität der Schüttung sind wichtige Umweltfaktoren, die einen Einfluss auf die biotischen Besiedlung haben, vor allem in der Zusammensetzung der Quellfauna (VAN DER KAMP 1995). So konnte GLAZIER (1991) für normal kalte Quellen in Nord-Amerika (Zentral-Pennsylvania) nachweisen, dass in perennierenden Quellen mit geringer jährlicher Schüttungsschwankung vor allem nicht-emergente<sup>2</sup> aquatische Invertebraten (*Mollusca* und *Turbellaria*) besonders häufig in der Quellfauna vertreten sind. SMITH ET AL. (2003) können jedoch für dauernd schüttende Quellen einen deutlich höheren Anteil von emergenten Insekten (*Ephemeroptera*, *Plecoptera* und *Trichoptera*) an der Gesamtzahl von Makroinvertebraten feststellen, was FISCHER (2003) für seine Untersuchungen am Beispiel der *Trichoptera* bestätigt. DUMNICKA, GALAS & KOPERRSKI (2007) und LINDEGAARD ET AL. (1998) stellen fest, dass die Strömung und die Schüttungsintensität keinen signifikanten Einfluss auf die Artzusammensetzung ausüben.

Ein nicht hinreichend befriedigend gelöstes Problem ist die Schüttungsmessung in natürlichen Quellen, wo feldmethodisch keine Gefäßmessung oder Flügelmessung (DYCK & PESCHKE 1995, LAWA 1995) vorgenommen werden kann. Hierbei kann die Quellschüttung nur durch Schätzverfahren ermittelt werden, wie bei BEIERKUHNLEIN & GRÄSLE (1993) oder SEIFFERT, SCHWINEKÖPER & KONOLD (1994). Für Langzeitstudien der Schüttung bieten sich Messwehre (DYCK & PESCHKE 1995, LAWA 1995) oder Quelfassungen (LAWA 1995) an, wobei diese Methoden einen Eingriff in die natürlichen Gewässerstrukturen darstellen.

Aktuelle oder zukünftige Auswirkungen des globalen Klimawandels, z.B. durch Niedrigwasser- oder Trockenheitsphasen, auf hydrologische und somit auch auf hydrochemische Eigenschaften von Quellgewässern erscheinen bislang als ein nur sehr gering beachtetes Thema in der Forschung (ALEXAKIS & TSAKIRIS 2010, HAO ET AL. 2009).

Aus den gegenübergestellten Ergebnissen geht hervor, dass die Quellschüttung ein Faktor ist, der im Einzelfall bzw. regionalspezifisch von Bedeutung sein kann, aber nicht ausschließlich hoch signifikante Übereinstimmungen in der Beziehung zu hydrochemischen und/oder besiedlungsrelevanten Merkmalen haben muss. Eine Kennzeichnung der Schüttung als relevanter Parameter sollte jedoch erfolgen, weshalb

<sup>2</sup> nicht-emergent bedeutet, dass der Lebenszyklus eines Organismus kein Schlüpfstadium von einer Larve oder Puppe zu einem flugfähigen Imago besitzt (PETERS 2003).

zumindest eine Schätzung in das Untersuchungsprogramm (Kap. 3.1) aufgenommen wird.

### **Wassertemperatur**

Eine mögliche Abgrenzung kalter Quellen (Akratopegene) gegenüber Thermalquellen (Akratothermen) erfolgt als Konvention mit der Festlegung der Wassertemperatur des Grundwassers von 20°C, gemessen in 20 Meter Tiefe unterhalb der Erdoberfläche (SCHÖNBORN 2003, DIN 1994). Auf eine differenziertere, vor allem für die Besiedlung relevante Unterscheidung der Wassertemperatur von einfach kalten Quellen (HINTERLANG 1992) und Thermalquellen (PRITCHARD 1991, VOUK 1948, TUXEN 1944) sei hier nur verwiesen. Die Wassertemperatur einfacher kalter, sommerkühler und winterwarmer Quellen entspricht dabei meist dem Jahresmittel der Lufttemperatur am betreffenden Quellstandort (THIENEMANN 1924). THIENEMANN (1922) hat eine relative Wassertemperaturkonstanz im Jahresverlauf bei Untersuchungen kalter Quellen im holsteinischen Hügelland festgestellt. Diese Isothermie von Quellen wird als Herausstellungsmerkmal von Quellgewässern im Sinne konstanter Umweltbedingungen häufig pauschalisiert und verallgemeinert (ODUM 1971, ELLENBERG 1996). Allerdings verweisen BEIERKUHNLEIN & GRÄSLE (1993) anhand eigener Ergebnisse auf eine differenziertere Sichtweise, denn obwohl Quellen konstantere Umweltbedingungen gegenüber anderen Binnenlandsgewässern aufweisen, muss die Isothermie nicht ausschließlich gelten. Erhebliche Temperaturschwankungen im Jahresverlauf lassen sich durchaus feststellen und zwar unabhängig von der Lage zur Meereshöhe (HASEKE & PRÖLL 2006, DOERPINGHAUS 2003, WERUM 2001, MÜLLER, GÄTH & FREDE 1995, WEY 1988). Eine wesentliche Ursache für höhere Amplituden im Jahresgang der Wassertemperatur von Quellen ist die Schüttungsintensität, vor allem wenn das Grundwasser aus oberflächennahen Schichten stammt (BEIERKUHNLEIN & GRÄSLE 1993). Eine Abgrenzung der Quellen mit Hilfe der Amplitude der Wasserjahresmitteltemperatur in Eukrenal (2°C-Jahresschwankung) und Hypokrenal (5°C-Jahresschwankung) (WARD 1994, HEBAUER 1983), wie in der Arbeit von VON FUMETTI, NAGEL & BALTES (2007) zu Rheokrenen in der Nordwest-Schweiz, kann somit nur regional- und quellspezifisch angewendet werden, wenn das Grundwasser aus tiefliegenden Aquiferen stammt und eine jährlich konstante Schüttung vorherrscht (SCHÖNBORN 2003). Allerdings sollte selbst die regionalspezifische Isothermie von Quellen kritisch gesehen werden. So konnte DOERPINGHAUS (2003) in einer Einjahresmessreihe für Waldquellen gleichen Quelltyps in der Hocheifel sowohl sehr geringe Wassertemperaturschwankungen, als auch erhebliche Amplituden feststellen. Das bedeutet, dass auch die festzustellende Dämpfung von täglichen und jährlichen Wassertemperaturamplituden vor allem bei Waldquellen (GRÄSLE & BEIERKUHNLEIN 1999) keine allgemeingültige Regel ist. In einer unpublizierten Messkampagne des Landesverbands für Höhlen- und Karstforschung Hessen e.V. (Rohdaten wurden dem Autor zur Verfügung gestellt) wurde die Wassertemperatur einer konstant schüttenden Helokrene am Waldrand im Fulda-Haune-Tafelland vom 11.03.2006 bis zum 01.04.2007 viertelstündlich mit einem Datenlogger erfasst. Die Wassertemperatur zeigt in der Auswertung der Daten einen sehr konstanten Mittelwert von 8,7 °C (Jahres-Mittelwert der Lufttemperatur beträgt 9,5 °C) und eine sehr geringe Amplitude von 0,8 °C. Ähnliche Ergebnisse liegen für das Fuldaer Becken an der Romersbergquelle vor (REISS & ZAENKER 2008). In diesem Zusammenhang (konstante Schüttungsintensität und Isothermie) dürfte die quelltypabhängige Verweilzeit des Wassers zu sehen sein, die zu einer unterschiedlichen Erwärmung des Quellwassers durch die Lufttemperatur führt (WILHELM 1956). BREHM (1973) kann anhand von vergleichenden Stichprobenmessungen an 59 Quellen des Schlitzerland (Hessen) im Spätwinter und im Spätherbst keine Beziehung zwischen Quelltyp und Wassertemperatur

nachweisen. ILMONEN ET AL. (2009) können die Luft- und Wassertemperatur als entscheidenden großskaligen Umweltfaktor identifizieren, der die Makroinvertebratenfauna in seiner Artzusammensetzung in borealen Quellen beeinflusst. Somit kann ein deutlicher temperaturabhängiger Gradient der Artzusammensetzung von Nord- nach Südfinnland festgestellt werden.

An den Temperaturhaushalt von Quellen sind weitere physikalisch-chemische Eigenschaften gekoppelt. So ist die Lösung von Sauerstoff und von Nährstoffen unmittelbar von der Wassertemperatur abhängig. Kühles Wasser kann mehr gelösten Sauerstoff enthalten als wärmeres Wasser, welches wiederum mehr gelöste Minerale und Nährstoffe enthält als kühleres Wasser (HÖLL 2002). So ist kühles Quellwasser ungestörter Quellen (Akrotopogene) in Mitteleuropa vorwiegend sauerstoffreich (Luftverwirbelung in Abhängigkeit der Strömung) und je nach geologischem Untergrund meist nährstoffarm.

Krenobionte und krenophile Wirbellose sind entsprechend an die Temperaturverhältnissen des Quellwassers angepasst bzw. gebunden. Eine dauerhafte Veränderung der Lebensbedingungen, d.h. eine langfristig stabile Erwärmung der Wassertemperatur können solche Organismen aufgrund enger ökologischer Valenz nicht tolerieren (FISCHER 1996). Kaltstenotherme Quellen bieten sowohl den frostempfindlichen atlantischen wie auch den wärmeempfindlichen alpin-arktischen oder subalpin-borealen Pflanzenarten geeignete Lebensräume (POTT 1992). Viele Pflanzenarten die an Quellen in Mittel- und Nordeuropa auch in kollinen und montanen Bereichen vorkommen, haben ihren eigentlichen chorologischen Hauptverbreitungsschwerpunkt in der Arktis und in der alpinen Stufe der Hochgebirge, so dass die Vegetation an Quellen als disjunkte alpin-arktische Areale Glazialrelikte, wie etwa *Saxifraga stellaris* oder *Stellaria crassifolia* beherbergen können (WILMANN 1998). Langjährige Beobachtungen und Messergebnisse der Wassertemperatur von Quellen werden im Zusammenhang mit retrospektiven Trends von Klimaveränderungen ausgewertet und diskutiert (VON PAPE 2009). Modellrechnungen zur zukünftigen Prognose der Wassertemperatur von Quellen bezüglich des globalen Klimawandels sind nicht bekannt.

### **Wasserchemismus**

Ein direkter Zugang zum Grundwasser ist an Quellen ohne Bohrung möglich, so dass physikalisch-chemische und biologische Eigenschaften des Grundwassers hydrogeologisch untersucht und überwacht werden (GRIEBLER & MÖSSLACHER 2003, LAWA 1995, KEIM, BARCZEWSKI & JURASCHEK 1994, WILLIAMS 1991). Die im Wasser mitgeführten Feststoffe und gelösten Substanzen werden als *Quellgut* bezeichnet (WOHLRAB ET AL. 1992). Entsprechend unterschiedlicher Gesteins- und Bodeneigenschaften kann die hydrochemische Zusammensetzung des Quellwassers, vor allem bei Grundwasser in Lockergesteinen recht stark variieren (MERKEL 1999, SIGG & STUMM 1994, DVWK 1993, RICHTER & LILICH 1975; vgl. Grundwassertypen nach FURTAK & LANGGUTH 1967). Analog ist die Typisierung von Quellgewässern nach der Wasserbeschaffenheit unterschiedlich. Eine biogeographische Einteilung erfolgt zum Beispiel nach dem Kalkgehalt in Weichwasser- oder Silikatquellen und Hartwasser- oder Carbonatquellen (Kalkquellen) (POTT & REMY 2000, ELLENBERG 1996). Hartes Wasser kalkhaltiger Gesteine hat zudem meist höhere pH-Werte (neutral bis alkalisch) sowie eine bessere Pufferung als es für das weiche Wasser der Silikatquellen festzustellen ist (POTT & REMY 2000, BREHM 1974). Die Ausfällung von Calciumcarbonat kann zu Versinterungen und der Ausbildung von Kalktuffquellen führen (PFEFFER 1978). Der Gehalt und das Vorkommen bestimmter gelöster Stoffe führen u.a. zur Unterscheidung von Süßwasser-, Salzwasser-, und Mineralquellen. Eine Diffe-



renzierung von Süß- und Salzwasser kann nach der Einteilung in Salinitätsbereiche vorgenommen werden. Süßwasser hat demnach einen Gesamt-Salzgehalt von weniger als 500 mg/l, Brackwasser 500 mg/l bis 3000 mg/l und Salzwasser über 3000 mg/l (KINZELBACH 1992). Mineralwasserquellen (bzw. Mineralwässer) enthalten mindestens 1000 mg gelöste feste Bestandteile oder gewisse Mindest-Ionen-Konzentrationen bestimmter Bestandteile (MTVO 2006). Die Lösung mineralischer Bestandteile im Quellwasser sowie der Nährstoffgehalt stehen auch in Abhängigkeit zur Wasserstoffionenkonzentration als Maß für die Reaktionsstufe des Wassers (Säuregrad), der mit dem pH-Wert angegeben wird (HÖLL 2002). Untersuchungen zur Gewässerversauerung, vor allem als Folge der Deposition von Schwefeldioxid („saurer Regen“) in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (SCHOEN, WRIGHT & KRIETER 1984), zeigen eine erhebliche Absenkung des pH-Wertes sowie eine schlechte Abpufferung in silikatischen Quellen der Mittelgebirge Deutschlands mit einer einhergehenden negativen Auswirkung auf Arten- und Individuenzahl (Rückgang) der Quellfauna (KLÖS 1984, MEIJERING 1984, LÜKEWILLE, SPÄH & THESING 1984). Auswirkungen zunehmender Acidität auf die Lebensgemeinschaft von Quellbächen hat MAUDEN (1994) dargestellt und leitet am Beispiel Hunsrück Bioindikatorarten für vier unterschiedliche Versauerungsstufen ab. ORENDT & REINHARDT (1997) zeigen anhand einer Untersuchung von stark versauerten Bächen und nicht versauerten Quellen in einem kleinen Wald-Einzugsgebiet in Sachsen-Anhalt auf, dass Quellen ein Refugium für säureintolerante Arten (*Gammarus pulex*, *Asellus aquaticus*, *Pisidium* sp.) sind und ein Regenerationspotential für ein Bachsystem darstellen können. In versauerten silikatischen Rheokrenen des Buntsandsteins im Pfälzerwald zeigt sich eine Dominanz krenobionter und krenophiler Arten in der Lebensgemeinschaft, wogegen krenoxene Arten nicht oder kaum vorzufinden sind und demgegenüber rhithrobionte Arten in nicht versauerten Quellen häufiger vorkommen (HAHN 2000). Ein Bioindikatorensystem (Fauna) zur Beurteilung der chemischen Gewässergüte von Quellen, vor allem zur Beurteilung der Salzbelastung (Chlorid) haben WILLIAMS, WILLIAMS & CAO (1997) aus einer Langzeituntersuchung kanadischer Quellgewässer publiziert. Diese Studie zeigt, dass bestimmte *Diptera* (*Tipulidae*, *Ceratopogonidae*) hohe Chloridgehalte tolerieren und *Gammarus*-Arten und *Tubellarien* nur bei geringen Chloridgehalten vorkommen. Ein Vergleich naturnaher Quellen mit anthropogen beeinflussten Quellen in Südfinnland zeigt, dass es je nach Tiergruppen der Meiofauna unterschiedliche Toleranzen gegenüber Änderungen chemisch-physikalischer Faktoren gibt (SÄRKÄ, LEVONEN & MÄKELÄ 1997).

BREHM (1985) und PUHE & ULRICH (1985) können in ihren Untersuchungen eine Versauerung von Quellen nach der Expositions Lage feststellen, wobei Quellen in west-exponierter Hanglage und mit zunehmender Höhenstufe besonders niedrige pH-Werte aufweisen. Hinsichtlich möglicher Aussagen zu Luftimmissions-Belastungssituationen von kleinen Waldeinzugsgebieten durch Quellwassermonitoring kommen BEIERKUHNLEIN & DURKA (1993) zu dem Ergebnis, dass eine Säurebelastung durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen räumlich abgeleitet werden kann, aber quantitativ nicht möglich ist, weil die verantwortlichen chemischen und biotischen Prozesse zu unterschiedlichen Rücklagen und Freisetzungen führen. Gleichwohl können Quellen als „Frühwarnsystem für Waldschäden infolge fortschreitender Bodenversauerung“ (BEIERKUHNLEIN & DURKA 1993:237) angesehen werden. Auch das Absinken des Grundwasserstandes kann zu einer Erniedrigung des pH-Wertes führen und somit zu einer Versauerung von Quellen beitragen (VÖTT 2000). Eine Erniedrigung des pH-Wertes führt meist zu einer Erhöhung der Aluminium- und Schwermetallkonzentration sowie höheren Gehalten an organischer Substanz (AUDORFF & BEIERKUHNLEIN 1999, PUHE & ULRICH 1985, LÜKEWILLE, SPÄH & THESING

1984). In einer Analyse der Po Hing Fong Quellen in Hong Kong können LEUNG & JIAO (2008) einen Anstieg des pH-Wertes mit geringer zeitlicher Verzögerung nach Niederschlagsereignissen aufzeigen. Der pH-Wert kann deutliche Schwankungen in Abhängigkeit der Jahreszeit aufweisen, mit hohen pH-Werten im Herbst und niedrigen pH-Werten im Winter (RUTHSATZ & HOLZ 1997, BEIERKUHNLEIN 1994). REISS & ZAENKER (2008) konnten solche jahreszeitlichen Unterschiede der Acidität (pH-Wert) im Unteren Muschelkalk im Fuldaer Becken sowie HASEKE & PRÖLL 2006 in den Kalkgesteinen des Nationalparks Berchtesgaden nicht feststellen. WERUM (2001) zeigt für geologisch unterschiedlich beschaffene Einzugsgebiete sowohl sehr geringe pH-Wert-Schwankungen (Basalt) bis sehr hohe pH-Wert-Schwankungen (Quarzit im Taunuskamm) auf. Hinsichtlich der Untersuchung der Gewässerversauerung „sind die Austauschbedingungen in den Basis- und Zersetzungsschichten der Bodenformen von entscheidender Bedeutung für die Quellwasserqualität“ (NEBE & ABIY 2002:11). Basaltbodenformen haben eine gute bzw. stabile Säurepufferung, Gneis-, Rhyolith- und Sandsteinböden dagegen eine schlechte bzw. instabile Säurepufferung (NEBE & ABIY 2002).

Detaillierte Untersuchungen zum Nährstoffgehalt, vor allem von Stickstoffverbindungen wie Nitrat, hat DURKA (1994) und DURKA (1999) für stark geschädigte Fichtenwälder im Fichtelgebirge vorgelegt. Einzugsgebiete mit geschädigten Fichtenbeständen können atmosphärisch deponiertes Nitrat nicht mehr aufnehmen. Es wird zusammen mit dem pedogen nitrifizierten Nitrat ausgewaschen, was anhand des Isotopenverhältnisses im Quellwasser nachweisbar ist (DURKA 1994). Anhand des Gehaltes an gelösten Carbonaten unterscheiden SHUSTER & WHITE (1971) zwei unterschiedliche Aquifertypen für Kalkquellen in den Zentral-Appalachen der USA, wobei die Variation der Wasserhärte (Ca/Mg ratio) als Indikator vorgeschlagen wird (Dolomit: Ca/Mg ratio Faktor 2-5; Kalkgestein: Ca/Mg ratio Faktor 3-8 und höher). Ferner stellen SHUSTER & WHITE (1971) innerhalb gleicher Aquifersysteme unterschiedliche schüttungsabhängige hydrochemische Beschaffenheiten an Quellen fest. Den Nährstoff- und Schwermetallgehalt von Quellen bezüglich landwirtschaftlicher und industrieller Belastung als Trinkwasserressource hat LINSMAIER (1984) in verschiedenen Regionen von Nordrhein-Westfalen untersucht, um im Vergleich zu geogenen Grundbelastungen den chemischen Gütezustand von Quellgewässern quantitativ und räumlich so zu kennzeichnen, dass anthropogene Beeinflussungen erkennbar werden. Den Einfluss landwirtschaftlicher Nutzflächen im Umfeld von Quellen kann GALAS (2005) in einer Untersuchung nordwestlich von Krakau in Polen mit erhöhten Stickstoff- und Phosphatverbindungen belegen. Eine chemisch-physikalisch basierte und nach dem geologischen Untergrund abgeleitete Quelltypologie hat ROCA (1990) für 207 Quellen in den spanischen Zentral-Pyreneen erarbeitet. ROCA & BALTANÁS (1993) können hierzu nachweisen, dass bestimmte Ostracodenarten vor allem Quellen mit hohem Mineralgehalt und sehr geringer Schüttung bevorzugt besiedeln. Die vor allem in jungpleistozänen Gebieten vorkommenden Quellmoore haben geogen höhere Gehalte an organischen Nährstoffen, vor allem Phosphorverbindungen, aber auch hohe Sulfat-, Eisen und Mangangehalten (HEINLE & KÖNIG 2006, PÄZOLT 2005, GROOTJANS ET AL. 1999) und nehmen neben silikatischen und carbonatischen als natürlich eutrophe Süßwasserquellen eine Sonderstellung ein.

In einer Untersuchung von 44 oberflächennah gespeisten Quellen im Osterzgebirge kommen NEBE & ABIY (2002) zu einer Schlussfolgerung, welche die Bedeutung des Bodens hinsichtlich der hydrochemischen Beschaffenheit von Quellwasser herausstellt. Nämlich, dass die zu kartierenden Bodenformen (Bodentyp, Bodenart und Ausgangssubstrat der Bodenbildung; vgl. ALTERMANN & KÜHN 1998) die Wasserqualität in einem Quelleinzugsgebiet besser kennzeichnen als das anstehende Gestein,

da die „stoffliche Zusammensetzung der Quellen [...] durch die Wasserflüsse im Boden modifiziert [wird]. Quellen mit oberflächennahem Zufluss unterscheiden sich grundsätzlich von Tiefenquellen mit altem Wasser“ (NEBE & ABIY 2002:1). Die Quellwasserchemie kann von der chemischen Zusammensetzung anschließender Bachläufe deutliche Unterschiede aufweisen, so dass Quellen auch hydrochemisch als eigenständige Gewässer anzusehen sind (SOULSBY ET AL. 1999). TSUJIMURA, ONDA & ITO (2001) können für Calcium, Sulfat und Hydrogencarbonat höhere Konzentrationen gegenüber Hangbodenwasser im Hochgebirge von Nagano (Honshu) in Japan (mesozoischer Kalkstein und Kieselschiefer) feststellen.

Als *minimal key descriptors* zur Kennzeichnung der chemisch-physikalischer Beschaffenheit von Quellen fassen WILLIAMS & WILLIAMS (1996) folgende Parameter zusammen: Quelltyp (Helo-, Limno-, Rheokrene), Schüttung, Schüttungsdauer, Wassertemperatur und den Gesamtgehalt gelöster Stoffe.

Diese hydrologischen und chemisch-physikalischen Mindestanforderungen an zu erfassenden Parametern sollten demnach Bestandteil in einen Untersuchungsprogramm sein. Eine entsprechende Berücksichtigung ist deshalb für diese Arbeit vorgesehen, soweit eine umfangreiche Übersichtskartierung die Kapazitäten zulässt, zumal kontinuierliche Mehrfachmessungen nicht möglich sind.

### 1.2.2 Gewässermorphologie von Quellgewässern

Gestaltungsvorgänge und Formen (Strukturen) oberirdischer Gewässer lassen sich als Gewässer-, Hydro- oder Ökomorphologie kennzeichnen (FUCHS 2006, GÖLZ 2006, DIN 1994). Gewässerstrukturen sind „alle räumlichen und materiellen Differenzierungen des Gewässerbettes [...], soweit sie hydraulisch, gewässermorphologisch und hydrobiologisch wirksam und für die ökologische Funktionen des Gewässers [...] von [...] Bedeutung sind“ (OTTO & REH 1999:57). Hinsichtlich der Bedeutung geomorphologischer Strukturen als Habitate und deren Beziehung zur Besiedlung mit Organismen ist der Begriff *Eco-Hydromorphology* geprägt worden, auch als *Ecohydrology* bezeichnet, der gleichsam als „interdisciplinary interface“ (VAUGHAN ET AL. 2009:114) ökologischer und hydrologischer (inklusive gewässermorphologischer) Forschung aufzufassen ist.

Quelltyp	Rheokrene	Helokrene	Limnokrene
Weitere Bezeichnung	Sturzquelle	Sicker- oder Sumpfquelle	Tümpelquelle
Fließverhalten	fallend, schießend	sickernd oder. diffus sumpftartig	am Gewässergrund; meist keine Strömung sichtbar
Hydromorphologische Charakteristika	sturztartiger Wasseraustritt; sehr starkes Geländegefälle; meist Felsen oder Grobmaterial	formenreich; aquatisch bis amphibisch; Ebenen bis mäßig geneigte Hänge; meist organisch geprägtes Feinmaterial; auch Substratvielfalt möglich	beckenartige kleine Standgewässer; meist in ebenen Flächen

Tab. K1-1: Gewässermorphologisch basierte Quelltypen nach THIENEMANN (1924)

Die ersten Quelltypologien wurden von STEINMANN (1907, 1908, 1915) und BORNHAUSER (1912) erarbeitet und basieren auf hydromorphologischen Merkmalen (relief-



abhängige Austrittsweise und Fließverhaltens des Wassers). THIENEMANN (1924) fasst auf diese Arbeiten aufbauend in seinem Lehrbuch über die Gewässer Mitteleuropas drei Quelltypen (Tab. K1-1 und Abb. K1-3) zusammen, deren Nomenklatur Bestandteil der Systematik der Biotoptypen in der naturschutzfachlichen Praxis in Deutschland geworden ist (BfN 2002, HAEUPLER 2002).

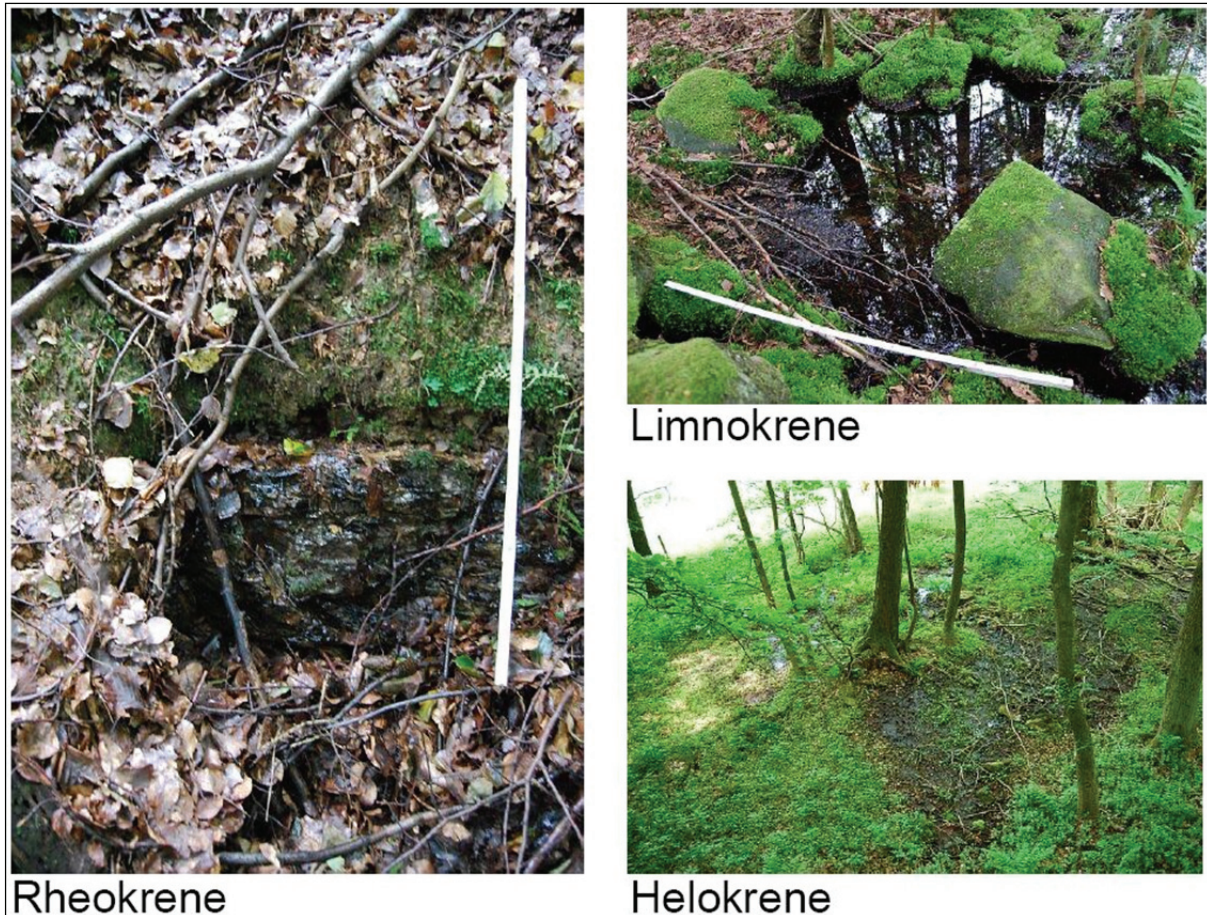


Abb.. K1-3: Gewässermorphologisch basierte Quelltypen nach THIENEMANN (1924). Eigene Aufnahmen (Foto links und oben rechts Maßstab 100 cm = Gliedermaßstab)

An einer Weiterentwicklung der Gewässertypologie nach THIENEMANN (1924) im Sinne regionalspezifischer Kennzeichnungen und Besonderheiten (regionale Quelltypologie) ist in der Folgezeit bis Anfang / Mitte der 1990er Jahre nur sehr wenig gearbeitet worden. BEYER (1932) hat für die Baumberge westlich von Münster weitere regionalspezifische Untertypen (insgesamt 11 Typen) nach THIENEMANN (1924) klassifiziert, die überwiegend nach Größe und dem Vorhandensein von Buchenlaub (Falllaub) der Quelle eingeteilt sind, jedoch keine typenspezifische Besiedlung aufweisen. Dass eine faunistische Besiedlung bzw. die Artzusammensetzung vom hydromorphologischen Quelltyp abhängt, können BLACKWOOD, HALL & FERRINGTON (1995) am Beispiel von Chironomidae (Zuckmücken) aufzeigen. SCHWOERBEL (1959) differenziert ebenfalls weitere Quelltypen, die Rheohelokrene, einen Mischtyp mit Charakteristika der Rheo- und Helokrene, die vor allem in den höheren Lagen des Südschwarzwald vorkommen. Ferner wird auch hier der Sondertyp der Moor- oder Sphagnumquelle festgestellt, zwischen Wiesen- und Waldquelle unterschieden und eine höhenzonale Einteilung in submontan (< 500 mNN), montan (500 – 1100 mNN) und subalpin (1100 – 1500 mNN) vorgenommen (SCHWOERBEL 1959). In jedem einzelnen Quelltyp kann SCHWOERBEL (1959) eine spezielle Wassermilbenfauna nach-

weisen. GERECKE (1991) knüpft in seiner Sizilien-Monographie zur Wassermilbenfauna an die Differenzierung von SCHWOERBEL (1959) an und stellt einen weiteren Zwischen- oder Mischtyp, die Rheopsammokrene heraus. Dies wird mit der dominierenden Substratauflage von Sand und Kies und ebenfalls aufgrund des Vorkommens charakteristischer Leitarten begründet. In weiteren Mittelgebirgsregionen und den Alpen Italiens konnten die Mischtypen Rheohelokrene und Rheopsammokrene gewässermorphologisch, wie auch biozönotisch (Wassermilben) gekennzeichnet werden (DI SABATINO, CICOLANI & GERECKE 2003). Die Rheohelokrenen in Festgesteinen montaner Lagen bezeichnet ZOLLHÖFER (1997) als lineare Quelle (auch Wanderquelle). Dieser Typ bildet keine Quellmulde im Eukrenal aus, sondern ist direkt durch ein unmittelbar beginnendes, im Gelände eingeschnittenes Bachgerinne gekennzeichnet, in dem der Quellaustritt jahresperiodisch parallel mit der Hangneigung (Gefälle) wandert. Ausgehend vom anstehenden Gestein unterscheidet ZOLLHÖFER (1997) die für das Jura und Mittelland der Schweiz vorkommenden Sturzquellen in gering und unversinterte Rheokrenen, Kalksinter-Rheokrenen und Karst-Rheokrenen sowie Alluvial-Rheokrenen in pleistozänen Deckschichten. ZOLLHÖFER, BRUNKE & GONSER (2000) können, mit Ausnahme der Linearquellen und den versinterten Rheokrenen, den hydromorphologischen Quelltypen entsprechend deutlich separate Artkompositionen zuordnen.

Mit der Initiative der Gesellschaft für Quellökologie e.V. in Nordrhein-Westfalen wird die Erarbeitung einer regionale Quelltypologie durch Quellatlanten (LISCHEWSKI 1999) nach einem Rahmen-Erfassungsprogramm (LISCHEWSKI & LAUKÖTTER 1993) angeregt, der neben biogeographischen und hydrochemischen entsprechend den Zustand der Gewässermorphologie von Quellen nach naturräumlichen Einheiten dokumentieren soll. Weitere Arbeiten liegen für die Bundesländer Bayern (BÜTTNER ET AL. 2008) und Rheinland-Pfalz (SCHINDLER & FREY 2002) vor, wobei die regionale Quelltypologie nach einem hydromorphologischen Ansatz nicht weiter differenziert wurde. Einen Ansatz wie Quellen nach geomorphologischen Faktoren, vor allem nach der Austrittsform des Grundwassers und der Substratauflage zu typisieren sind, ist in einer Untersuchung in Berchtesgaden (Bayerische Alpen) exemplarisch vorgestellt worden (HOWEIN & SCHRÖDER 2006). Demnach werden für alpine Quellen folgende gewässermorphologische Quelltypen angegeben: Typ 1, Felsquelle; Typ 2, Blockquelle; Typ 3, Steinquelle mit den Untertypen 3a, Steinquelle mit hemikryptophytischer Vegetation die über 1/3 der Fläche bedecken und 3b, Steinquelle mit hemikryptophytischer Vegetation, die unter 1/3 der Fläche bedecken; Typ 4, Kiesquellen mit den Untertypen 4a, Kiesquellen mit hemikryptophytischer Vegetation die über 1/3 der Fläche bedecken und 4b, Kiesquellen mit hemikryptophytischer Vegetation die unter 1/3 der Fläche bedecken; Mischtypen zwischen Typ 3 und Typ 4, nicht näher spezifiziert; Mischtypen zwischen den Untertypen 4a und 4b, nicht näher spezifiziert; Typ 5, Detritusquellen mit den Untertypen 5a, fließende Detritusquellen mit über 1/3 des Abflusses ruhig fließend und linienhaftem Abfluss und 5b, sickernde Detritusquellen mit deutlich dominierendem flächigen, sickernden Abfluss; Mischtypen zwischen den Untertypen 5a und 5b; Typ 6, Limnokrene (HOWEIN & SCHRÖDER 2006).

Nach der Anordnung der Quellaustritte können unterschieden werden (nach AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE 1997; Ziffern siehe Abb. K1-4):

- Einzelaustritt (Einzelquelle) [1]
- Mehrere Einzelaustritte (Quellgruppe) [2]
- Linienhafter Austritt (Quellenlinie) [3]
- Flächiger Austritt [4]
- Quelltopf [5]



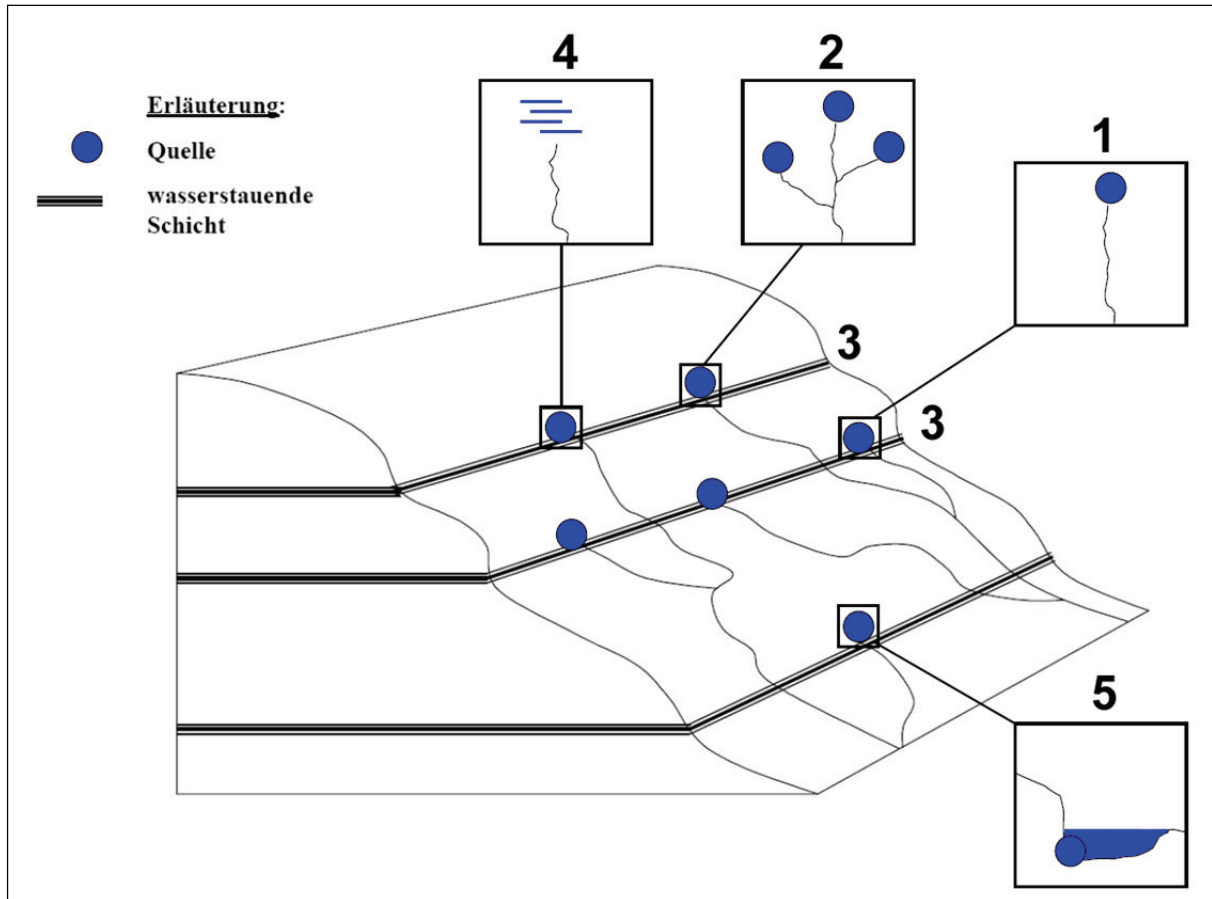


Abb. K1-4: Anordnung von Quellen in Abhängigkeit des Reliefs. 1) Einzelquelle; 2) Quellgruppe; 3) Quelllinie; 4) flächenhafter Austritt; 5) Quelltopf. Eigene Darstellung

Das Substrat kann als eine komplexe Variable der physikalischen Lebensbedingungen im Gewässer verstanden werden (ALLAN & CASTILLO 2007), die wiederum direkt die Quellfauna, deren Vorkommen (Lebensraum) und Nahrungsgrundlage beeinflusst (Abb. K1-5).

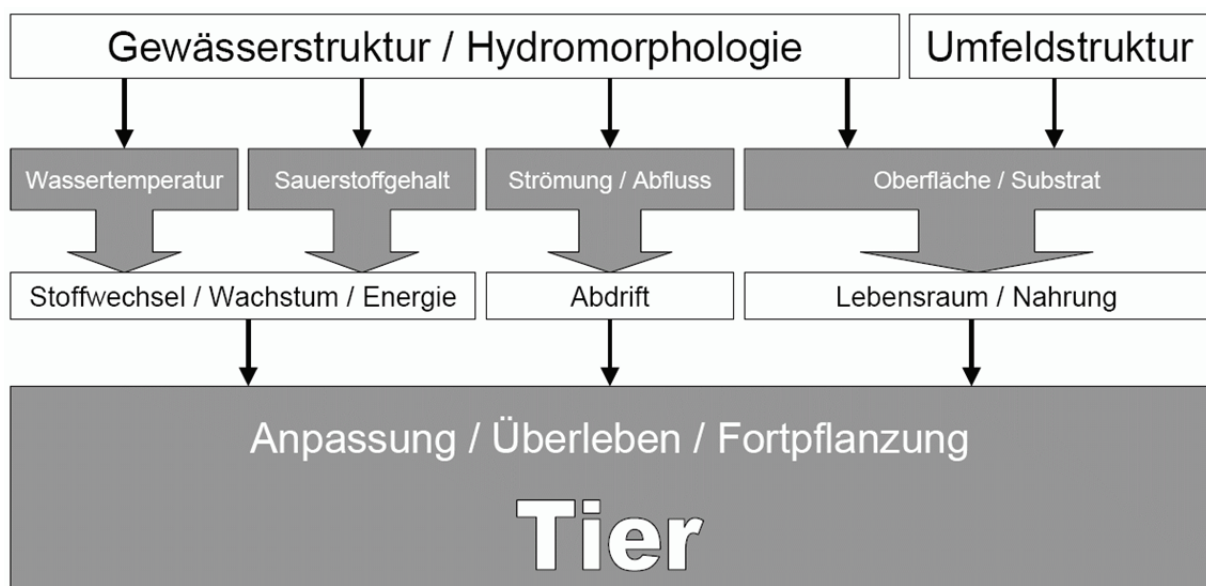


Abb. K1-5: Einfluss der Gewässermorphologie auf die Quellfauna. Darstellung nach KOOP 2003, modifiziert und ergänzt

Indirekte Einflüsse werden durch hydromorphologische Strukturen und Merkmale wie Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt und Strömung vor allem durch den Quelltyp in Abhängigkeit des Reliefs und der Form des Grundwasseraustritts verursacht. Diese indirekten Faktoren betreffen meist das gesamte (Makro-)Habitat, folglich das Eukrenal als Ganzes. Das Substrat bewirkt dagegen kleinräumigere Beeinflussungen, welche die Mikrohabitate einer Quelle betreffen. Somit kann eine substantielle abiotische Heterogenität, gegeben durch Substratunterschiede, zur Heterogenität biotischer Strukturen, der Artzusammensetzung beitragen. Dabei ist für Quellen, z.B. im Wald, das Umfeld als Strukturbildner (Laub, Totholz, Wurzeln) mit zu berücksichtigen, da dadurch sehr stark allotrophe Komponenten (allochtoner Input waldbürtiger Kleinstrukturen) zu den Lebensbedingungen in Waldquellen beitragen (SCHÖNBORN 2003, DETSCH 2000).

Die Bedeutung des Quellumfeldes, das bestimmte Umfeldstrukturen (Laub-, Nadelwald, Wiese) aufweist und z.B. durch starke oder fehlende Beschattung indirekte Auswirkungen auf andere Parameter, wie die Wassertemperatur und damit auf hydrochemische Faktoren sowie unterschiedliche Nahrungsangebote hat, konnte in Unterschieden der Artzusammensetzung von NEUMANN (1981) in einem Vergleich von Laub-, Nadelwald- und Wiesenquellen in einem kleinen Nebeneinzugsgebiet der Sieg bei Eitorf östlich von Bonn gekennzeichnet werden. Umfeldveränderungen wie Kahlschläge oder Teilrodungen können Veränderungen der Gewässermorphologie verursachen und somit auch die Besiedlung beeinflussen bzw. dauerhaft modifizieren (GEE & SMITH 1997).

Obwohl die limnologische Kennzeichnung von Quelltypen auf hydromorphologische Parameter basiert, wurden gewässerstrukturelle Einflussgrößen zur Erfassung von Quellgewässern bislang wenig beachtet, zumal es an der Entwicklung von Methoden zur Bewertung der Gewässerstrukturgüte von Eu- und Hypokrenal mangelt (REISS & OPP 2004). Dieses Defizit wird in der Konzeption des Untersuchungsprogramms aufgegriffen, um entsprechende hydromorphologische Merkmale zu berücksichtigen, die insbesondere Einfluss auf das Vorkommen und die Beschaffenheit von Substrattypen nehmen können.

### **1.2.3 Das Substrat als gewässermorphologische Struktur und Lebensraum von Quellen**

Die Substratausprägung von Quellen als gewässermorphologische Struktur und die Bedeutung des Substrats als Lebensraum für die Fauna sind bislang kaum untersucht worden (DUMNICKA, GALAS & KOPERRSKI 2007, SCHINDLER 2004). Zwar gibt es für Fließgewässer eine Vielzahl und eine Tradition von Untersuchungen (Zusammenfassungen in ALLAN & CASTILLO 2007, HILDREW 1998, HYNES 1970), doch dürften die Ergebnisse für Quellen aufgrund anders ausgeprägter physikalisch-chemischer Verhältnisse (z.B. geringere Strömung, geringere Temperaturen, Kleinräumigkeit) nicht im Analogieschluss übertragbar sein. Allerdings ist das Substrat in Fließgewässern häufig eines der signifikantesten Faktoren, der die Artzusammensetzung der aquatischen Benthosfauna beeinflusst (BRAINWOOD, BURGIN & BYRNE 2008, URBANAČ, TOMAN & KRUSNIK 2005, LAMOUROUX, DOLÉDEC & GAYRAUD 2004, BOYERO 2003, ANGRADI 1999, ERMAN & ERMAN 1984). Ansätze, die Substratausprägung als hydromorphologischen Parameter für Quellen standardisiert zu erfassen, um eine gewässertypologische Einteilung zu ermöglichen, werden im „Aktionsprogramm Quellen“ des Bayerischen Umweltministeriums (BÜTTNER ET AL. 2008), im CRENODAT-Projekt der autonomen Provinz Trient (Trento) in Italien (SPITALE 2007) und im Monitoringpro-

gramm des Nationalparks Berchtesgaden (HOWEIN & SCHRÖDER 2006) berücksichtigt. Dabei werden die Substrate nach flächenbezogener Häufigkeit erfasst und nach Deckungsgraden (in Prozent) dargestellt. Eine Angabe, wie die Erfassung in Prozentangaben erfolgt, wird jedoch nicht gegeben. Bereits das Rahmen-Kartierverfahren zur Dokumentation von Quellen in Nordrhein-Westfalen (LISCHEWSKI & LAUKÖTTER 1993) hat hierzu Häufigkeitsklassen vorgeschlagen, allerdings wird nicht angeführt welche Schätzmethode als Grundlage der Datenerhebung dient. Bezugnehmend auf Schätzverfahren freilandökologischer Feldmethoden (MÜHLENBERG 1993) geben REISS & OPP (2004) eine Empfehlung zur flächenbezogenen Einteilung der Substrataufgaben nach Deckungsgraden. Die Erfassung des Substrats als potentielles Mikrohabitat, kombiniert mit einer gleichzeitig feldökologischen Probennahme der Fauna, wie sie für Fließgewässer methodisch vorliegen (GROLL & OPP 2008, MEIER ET AL. 2006, HERING ET AL. 2003, BARBOUR ET AL. 1999, BEISEL ET AL. 1998) ist für den Gewässertyp Quelle denkbar, allerdings bislang nicht entwickelt worden. Eine limnologische Nomenklatur der Substrate für Gewässer erfolgt meist unter dem Aspekt, dass es sich hierbei um Habitate handelt, d.h. das Substrat kann einen Faktor für die Besiedlung der Fauna darstellen (MOOG & GRASSER 1992). Hierbei sind die mineralischen Substrate der Gewässersohle entsprechend für benthische Lebewesen von Bedeutung, die MOOG & GRASSER (1992) als Choriotope sowie SCHMEDTJE & COLLING (1996) als abiotische Habitate bezeichnen (Tab. K1-2).

Mineralisches Substrat <sup>1</sup>	Beschreibung <sup>1, 2</sup>	Korndurchmesser <sup>1</sup>
Megalithal	Oberseite großer Steine/Blöcke, anstehender Fels	> 40 cm
Makrolithal	kopfgröße Steine, mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen	20 cm – 40 cm
Mesolithal	faustgroße Steine, mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen	6,3 cm – 20 cm
Mikrolithal	Grobkies (taubenei- bis kinderfaustgroß, mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen)	2,0 cm – 6,3 cm
Akal	Kies (Fein- bis Mittelkies)	0,2 mm – 2,0 mm
Psammal	Sand (Grob- bis Feinsand)	0,063 mm – 0,2 mm
Argillal <sup>3</sup>	Verfestigtes Feinsediment (Ton, Schluff)	< 0,063 mm
Pelal	Unverfestigtes Feinsediment, meist mit organischem Feinmaterial vermischt (Schlick, Schlamm)	< 0,063 mm

Tab. K1-2: Mineralische Substrate in Quellgewässern <sup>1)</sup> nach MOOG & GRASSER (1992) und BRAUKMANN (1987) <sup>2)</sup> nach AG Boden (2005) ergänzt. <sup>3)</sup> wird bei MEIER ET AL. (2006) als Argyllal bezeichnet und weicht von der Korngrößeneinteilung nach AG BODEN (2005) ab

Eine Nomenklatur für organische Substrate bzw. möglicher organischer Materialien die in Quellen eingetragen werden können geben LISCHEWSKI & LAUKÖTTER (1993), wobei das Quellumfeld einen entsprechenden Einfluss nimmt (z.B. krautige Vegetation, Wasserpflanzen, Fall-Laub, Totholz, Moospolster, Geniste). Die Habitatpräferenz quellbewohnender benthischer Wirbelloser sowie speziell für *Oligochaeta* ist am Beispiel von Karstquellen im Kraków-Czestochowa Upland in Süd-Polen untersucht und dargestellt worden (DUMNICKA, GALAS & KOPERRSKI 2007, DUMNICKA 2006). Der mineralische Substrattyp, d.h. die Unterscheidung in Fein- und Grobsubstrat, ist dabei der



ausschlaggebende Faktor für die Besiedlungsdichte, wobei eine erhöhte Substraterogenität eine höhere Artenvielfalt bewirkt. BONETTINI & CANTONATI (1996) können einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Artenzusammensetzung von Insekten in Quellen des Sacra-Einzugsgebiets (Adamello Brenta Regional Park, Italien) und der Korngröße aufzeigen. Die Bedeutung der Substratbeschaffenheit als bedeutender gewässermorphologischer Faktor, der einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Quellfauna haben kann, konnte auch für perennierende Kalkquellen in der Nordwest-Schweiz im Vergleich gegenüber anderen physikalischen und chemischen Parametern herausgestellt werden (VON FUMETTI ET AL. 2006). Auch in der Studie von HAHN (2000) determiniert vor allem die Substratbeschaffenheit die Zusammensetzung der Quellfauna in perennierenden Quellen des Pfälzerwaldes (Buntsandstein) in Rheinland-Pfalz. LINDEGAARD ET AL. (1998) stellen in einer Untersuchung mit dem Ziel, Umweltvariablen zu finden, welche die Artenzusammensetzung in bestimmten Faunagruppen dänischer Quellen repräsentieren, fest, dass eine höhere Substraterogenität die Biodiversität vor allem in Helokrenen steigert. Allerdings lassen sich keine spezifischen Lebensgemeinschaften feststellen. Um das zu erreichen, bedarf es einer speziellen substratbezogenen Erfassungsmethode, welche alle vorkommenden Mikrohabitate einbezieht (DUMNICKA, GALAS & KOPERRSKI 2007, LINDEGAARD ET AL. 1998). Auch WILLIAMS & WILLIAMS (1999) können für kanadische Quellen am Beispiel ausgewählter Insekten und Wassermilben eine deutliche Zunahme der Biodiversität mit steigender Mikrohabitatvielfalt feststellen. In einer Untersuchung von Quellen im Einzugsgebiet der Schütt in Kärnten, Österreich, wurde die Zusammensetzung von Zönosen dahingehend analysiert, welche Faktoren bedeutsame Auswirkungen auf das Artvorkommen haben (STAUDACHER & FÜREDER 2006, STAUDACHER & FÜREDER 2007). Es konnte hierbei festgestellt werden, dass die Meereshöhe keinen signifikanten Einfluss ausübt, einige Taxa in wenigen sulfathaltigen Quellen ausfallen und dass vor allem die Habitat- und Strukturvielfalt ein Muster in der Besiedlung verursacht. Bei bestimmten dominierenden Mikrohabitaten wurden Substratpräferenzen nach unterschiedlichen Taxastufen erkannt. *Ephemeroptera* ( Eintagsfliegen) bevorzugen Mikro- und Mesolithal, *Crunoecia irrorata* (Quellköcherfliege) hingegen grobpartikuläres organisches Material (CPOM). Der Grund ist überwiegend in der Ernährungsweise der Taxa zu sehen. Zahlreiche Taxa wie *Chironomidae* (Zuckmücken) und *Plecoptera* (Steinfliegen) sind in allen untersuchten Substraten zu finden. Die Untersuchungen von STAUDACHER & FÜREDER (2006) und STAUDACHER & FÜREDER (2007) belegen auch eine bestimmte Verteilung der Taxa nach den unterschiedlichen Teillebensräumen, wobei sich krenobionte Arten neben indifferenten Arten überwiegend in semiaquatischen Bereichen finden und nur wenige krenobionte Taxa im aquatischen Bereich. Somit ist eine Schlussfolgerung, bei Quelluntersuchungen möglichst alle Teillebensräume zu erfassen und sich nicht ausschließlich auf das Makrozoobenthos zu konzentrieren, welches nur einen Teil des Gesamthabitats repräsentiert. THORUP & LINDEGAARD (1977) können für die Substrate Sand und Kies, emerse Makrophyten, Wasserpflanzen, submerse Moose, emerse Moose und Buchenlaub wenige charakteristische Fauna-Vertreter anhand der prozentualen Häufigkeit kennzeichnen. ILMONEN & PAASIVIRTA (2005) bilden anhand von Strömungsintensität und Sohlensubstrat Habitattypen: Mineralische Quellbäche, organische Quellbäche, Helokrene, durchströmte Moospolster, Limnokrene. Es können, mit Ausnahme der Helokrenen für die jeweiligen Habitate, Indikatorarten benthischer Makro-Crustacean und Insekten festgestellt werden. Eine statistisch signifikante Beziehung zwischen den Habitattypen und der Artenvielfalt können ILMONEN & PAASIVIRTA (2005) nicht diagnostizieren. GASKIN & BASS (2000) können für Quellen in Oklahoma, USA ebenfalls einen Zusammenhang zwischen der Vielfalt an Mikrohabitaten und der Ar-

tenzahl feststellen. Angaben zur Substratpräferenz finden sich in der Veröffentlichung allerdings nicht. Für Kieselalgen (*Diatomeen*) scheint lediglich die Korngröße mineralischer Substrate einen Einfluss auf die Besiedlung bestimmter Arten zu haben, denn eine signifikante Korrelation mit unterschiedlichen Mikrohabitaten in Quellen besteht nicht (CANTONATI & SPITALE 2009). Auch in Untersuchungen von Karstquellen im Wye-Einzugsgebiet im Peak District National Park (Derbyshire), England stellen SMITH, WOOD & GUNN (2003) und SMITH (2002) keinen eindeutigen Einfluss im Vorkommen unterschiedlicher Mikrohabitats auf die Artzusammensetzung der Wirbellosenfauna fest. Lediglich das Vorhandensein von Fall-Laub lässt ein abweichendes Besiedlungsmuster erkennen. Die Frage nach einer biozönotischen Relevanz von substratbezogenen Quelltypen, wie sie im Nationalpark Berchtesgaden erarbeitet wurden (HOWEIN & SCHRÖDER 2006), liefert zwar im Ergebnis, dass es einen Zusammenhang zwischen gewässermorphologischer Struktur und der Fauna gibt, doch lassen sich „weder scharfe Abgrenzungen zwischen Artengemeinschaften bestimmter Quelltypen ziehen noch reichen [die] Daten aus, um Indikatorarten solcher Quelltypen eindeutig festzulegen“ (SCHRÖDER, HOWEIN & GERECKE 2006). Eine Integration unterschiedlicher Habitatfaktoren in Korrelation mit der Quellfauna verfolgen auch ZOLLHÖFER, BRUNKE & GONSER (2000). Durch statistische Ordination mit Hilfe multivariater Methoden werden der gewässermorphologische Quelltyp, das Substrat, die Schüttungsintensität und bestimmte Leitarten (Charakterarten) als wichtigste Einordnungskriterien festgestellt und somit 6 Typen zu einer integrierten regionalen Quelltypologie am Beispiel der Nordwest-Schweiz vorgestellt. Hierbei lassen sich die vor allem regional relevanten Rheokrenen nach Habitatrelevanz strukturell, funktional und faunistisch weiter differenzieren. Das Substrat zeigt insbesondere zur strukturellen Auftrennung in fein- und grobmaterialspezifisch mineralische Substrate sowie besonders hervortretende organische Substrate wie grobpartikuläres Material (Laub, Totholz) und krautige Pflanzen (emerge Makrophyten) eine ökologische Relevanz. Auswirkungen gewässermorphologischer Degradationen durch menschliche Eingriffe auf die Gewässerstrukturen und deren Beeinflussung der Lebensgemeinschaft werden von ANGELI ET AL. (2010) am Beispiel von Kieselalgen (*Diatomeen*) in Quellen der autonomen Provinz Trient (Italien) dargestellt. Quellen in Siedlungsnähe sind häufig ausgebaut bzw. die natürliche Gewässersohle ist zur Wasserentnahme künstlich verändert worden, was sich im Fehlen zahlreicher, vor allem seltener (Rote Liste) Kieselalgenarten zeigt. Am Beispiel des Weil-Einzugsgebiets im unterdevonischen Taunusgebiet (Hessen) wird aufgezeigt, welche *Trichoptera* (Köcherfliegen) eine krenale oder rhithrale Habitatbindung haben und wie sich bestimmte Köcherfliegen als Indikatorarten zur Bewertung von Hemerobiestufen eignen, also substrat- und gewässermorphologischbedingte anthropogene Degradationen anzeigen (BERNERTH, TOBIAS & PACHMAJER 1999). Da vor allem taxaübergreifende Untersuchungen zur Substratpräferenz von Wirbellosen im Eukrenal fehlen, setzt das Untersuchungsprogramm bei diesem Defizit an, um methodische Weiterentwicklungen und einen neuen Erkenntnisgewinn zur Fauna-Mikrohabitat-Beziehung zu erzielen.

### 1.2.4 Hydrobiologie von Quellen

Arbeiten zur Kennzeichnung der Besiedlung und der Verteilung von Pflanzen und Tieren in Quellen sind meist in vegetationskundliche und faunistische Untersuchungen getrennt vorgenommen und selten zusammen untersucht worden (MATTSON, EPLER & HEIN 1995). Regionale Studien liegen vor allem für Europa und Nordamerika vor, d.h. für die Mittelbreiten und Subtropen, also im Wesentlichen für die Holarktis.

Allerdings gibt es auch hier räumliche Kenntnislücken, d.h. eine flächendeckende, zumindest stichprobenartige Kenntnis, insbesondere zur faunistischen Verbreitung in Deutschland gibt es nicht. Ferner gibt es kaum Untersuchungen in den Tropen (CANTONATI 2007, GOLDSCHMIDT 2004).

Zur Vegetation von Quellen liegt mit der Arbeit von HINTERLANG (1992) eine umfangreiche Darstellung von Pflanzengesellschaften sowie ein Abriss der vegetationskundlichen Forschung zu silikatischen Quellen zentraleuropäischer Mittelgebirge vor. Einen komprimierten Überblick zur Quellvegetation in Europa geben ZECHMEISTER & MUCINA (1994). Untersuchungsergebnisse in verschiedenen Aufsätzen zur Vegetation von silikatischen Waldquellfluren in Mittelgebirgsregionen Deutschlands sind in BEIERKUHNLEIN & GOLLAN (1999) publiziert. PETERS (1988) hat einen seltenen integrierten Ansatz in seiner Arbeit verfolgt und pflanzenökologische und bodenkundliche Untersuchungen von Quellwaldstandorte im Raum Bochum vorgenommen.

Die Quellgemeinschaft (Krenozön) der Fauna setzt sich aus verschiedenen Faunenelementen zusammen, die sich räumlich und biozönotisch unterteilen lassen (Abb. K1-6).

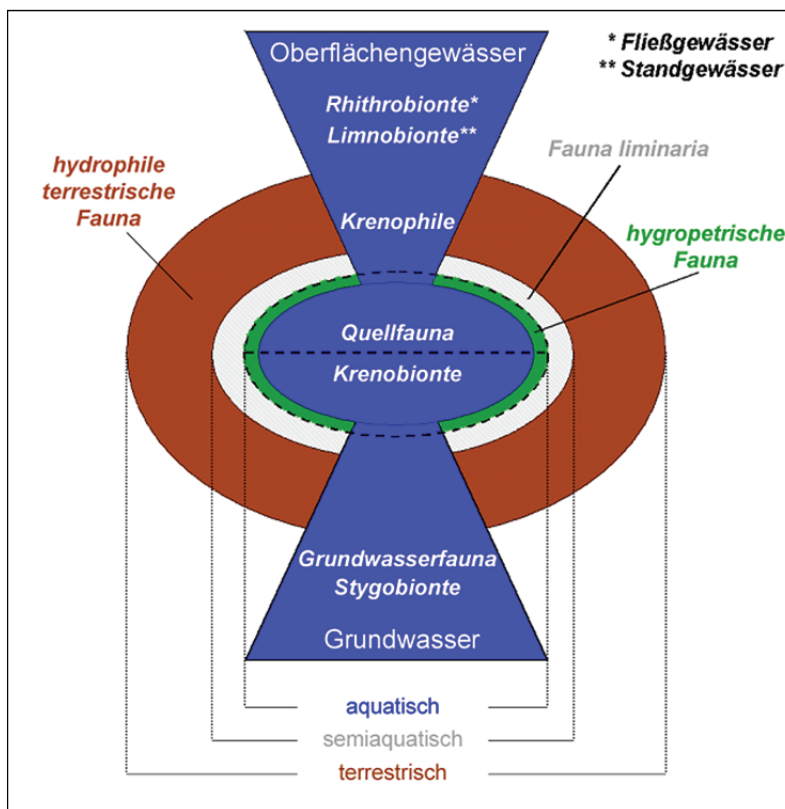


Abb. K1-6: Zusammensetzung des Krenozöns (Quellgemeinschaft). Eigene Darstellung nach CANTONATI, GERECKE & BERTUZZI 2006, FISCHER ET AL. 1998

Quellen werden fast ausschließlich von Invertebraten (Wirbellose) besiedelt (vgl. Tab. K1-3), aber auch Amphibien und deren Larven können hier siedeln (BREHM & MEIJERING 1996). Fische finden sich nicht in Quellen ein, doch sind große Quellen in den USA als Habitate bekannt (BERGEY, MATTHEWS & FRY 2008). GERECKE ET AL. (1998) betonen, dass krenobionte Arten streng genommen Arten sind, die in ihrem Vorkommen ausschließlich an das Eukrenal gebunden sind.

	Krenal	Rhithral	Potamal	Insg.	% Krenal	% Krenal vgl.
<i>Hydrozoa</i>	0	3	1	4	0,0%	0,0%
<i>Turbellaria</i>	141	117	24	282	9,5%	50,0%
<i>Rotatoria</i>	20	11	79	110	1,3%	18,2%
<i>Nematoda</i>	22	4	22	48	1,5%	45,8%
<i>Gastropoda</i>	248	87	62	397	16,6%	62,5%
<i>Oligochaeta</i>	3	6	1	10	0,2%	30,0%
<i>Acari</i>	119	421	9	549	8,0%	21,7%
<i>Crustacea</i>	210	131	193	534	14,1%	22,3%
<i>Ephemeroptera</i>	3	163	117	283	0,2%	1,1%
<i>Plecoptera</i>	8	345	52	405	0,5%	2,0%
<i>Odonata</i>	4	62	38	104	0,3%	9,6%
<i>Heteroptera</i>	2	34	5	41	0,1%	4,9%
<i>Coleoptera</i>	63	288	72	423	4,2%	14,9%
<i>Megaloptera</i>	0	7	9	16	0,0%	0,0%
<i>Trichoptera</i>	173	558	130	861	11,6%	20,1%
<i>Diptera</i>	467	986	251	1704	31,3%	27,4%
<i>Pisces</i>	0	143	260	403	0,0%	0,0%
<i>Amphibien / Reptilien</i>	9	16	1	26	0,6%	34,6%
<i>Aves</i>	0	5	132	137	0,0%	0,0%
<i>Mammalia</i>	0	28	33	61	0,0%	0,0%
Insgesamt	1492	3415	1491	6398	100%	

Tab. K1-3: Anzahl aquatischer Tierarten aus verschiedenen systematischen Gruppen, die in Europa in Quellen, Bächen und Flüssen vorkommen (nach Limnofauna europaea, ILLIES 1978). „% Krenal“ zeigt die relative Verteilung innerhalb der im Krenal quelltypischen Arten nach Klasse oder Ordnung (in der Spalte); „% Krenal vgl.“ zeigt die relative Verteilung der im Krenal vorkommenden Arten im Vergleich zu den Arten von Bächen und Flüssen bezogen auf die Klasse oder Ordnung (in der Zeile). Eigene Darstellung nach Daten aus BREHM & MEIJERING 1996

Die eigentliche Quellfauna setzt sich überwiegend aus aquatischen Organismen zusammen (FISCHER ET AL. 1998). Daneben gibt es Bereiche, die mit Wasser überrieselt und von der Fauna hygropetrica besiedelt werden. THIENEMANN (1924) versteht hierunter einen Bereich, wo Felsen oder Gesteine von einem Wasserfilm überzogen sind (grch. *petra* = der Fels). Zur aquatischen Fauna können Stygobionte aus dem Grundwasser (EVTIMOVA, PANDOURSKI, & BENDEREV 2009, LASAR 1989) sowie von oberirdischen Gewässern (Fließ- und Standgewässer) entsprechend Rhithro- und Limnobionte das Eukrenal besiedeln. Semiaquatische oder amphibische Bereiche sind durchfeuchtete Substrate (z.B. Feindetritus und grobpartikuläres organisches Material, CPOM), wo keine sichtbare Wasserfläche vorzufinden ist. Diese Stellen bildet die Fauna liminaria oder Grenzfauna aus (FEUERBORN 1923). In einem Übergangssaum schließt eine terrestrisch-hygrophile Fauna an, wobei eine klare Abgrenzung räumlich und biozönotisch schwierig ist, jedoch der zunehmende Einfluss von Bodenarthropoden meist deutlich ansteigt (FISCHER ET AL. 1998). Die in Abb. K1-6 dargestellten Teillebensräume, die sich horizontal (aquatische, hygropetrische, liminarische und terrestrisch-hygrophile Fauna) wie vertikal (Grundwasser, Quelle, Oberflächengewässer) erstrecken, verzahnen sich meist sehr kleinräumig und tragen somit zu einer komplexen, heterogenen Raum- und Besiedlungsstruktur bei. Dabei ist der Ökotoncharakter in zweidimensionaler Hinsicht zu beachten, eine deutliche Abgrenzung erscheint nicht möglich: „Übergangslebensräume haben keine festen Grenzen, sie sind vielmehr als Gradienten aufzufassen“ (FISCHER ET AL. 1998:187).



Eine Zusammenstellung nachgewiesener Arten in europäischen Quellen (1492 Arten) nach systematischen Gruppen (Tab. K1-3) zeigt die Bedeutung für die Besiedlung einzelner Klassen und Ordnungen aquatischer Organismen. Innerhalb des Krenals dominiert die Klasse der Insekten (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Odonata*, *Heteroptera*, *Coleoptera*, *Megaloptera*, *Trichoptera* und *Diptera*) mit 48,2 Prozent den Anteil der in Quellen vorkommenden Arten. Die artenreiche Ordnung der Zweiflügler (*Diptera*) ist innerhalb des Krenals das quantitativ bedeutendste Taxon. Danach sind besonders die *Gastropoda* (Schnecken), *Crustacea* (Krebstiere) und *Trichoptera* (Köcherfliegen) häufig vertreten (Spalte „Krenal“ in Tab. K1-3). Ein Vergleich zwischen Quellen, Bächen und Flüssen innerhalb der Klassen und Ordnungen (Spalte „% Krenal vgl.“ in Tab. K1-3) zeigt jedoch auch Bedeutungsunterschiede für das Krenal. Für bestimmten Taxa ist eine deutliche Konzentration im Quelllebensraum festzustellen, wie es am Beispiel der *Gastropoda* exemplarisch erkennbar ist. Für die *Turbellaria* (Strudelwürmer), einer Klasse der Plattwürmer (*Plathelminthes*) sind Quellen neben den Bächen ein bevorzugtes Habitat. Der Vergleich innerhalb bestimmter Taxa wie z.B. *Nematoda* (Fadenwürmer), Amphibien/Reptilien, *Oligochaeta* (Wenigborster) oder *Acar* (Milben) zeigt bei Betrachtung der Verteilung auf die unterschiedlichen Gewässertypen eine deutlichere Bedeutung des Quelllebensraumes. Allerdings sollte erwähnt werden, dass die Übersicht in Tab. K1-3 keine amphibischen und terrestrisch-hygrophilen Arten der anderen Teillebensräume der Quellen wiedergibt, der Ökotoncharakter hierbei also unberücksichtigt bleibt. ZOLLHÖFER (1997) hat die Limnofauna europaea (ILLIES 1978) nach krenobionten und krenophilen Arten ausgewertet und kann 465 Arten als Quellspezialisten kennzeichnen.

FISCHER ET AL. (1998) haben zwei Quellen im Ohe-Einzugsgebiet (Obere Lahn, Rheinisches Schiefergebirge) und eine Quelle im Schlitzerland (Breitenbachquelle, Buntsandstein) nach Teillebensräumen faunistisch untersucht und die Fundergebnisse nach Ernährungstypen (trophischer Aspekt) gegliedert. Im aquatischen Bereich konnten 52 Taxa festgestellt werden, wobei Weidegänger, Räuber (Predatoren), Zerkleinerer und Detritusfresser einigermaßen gleichverteilt vorkommen. Der hygropetrischen Fauna können 13 Taxa zugeordnet werden und es überwiegen vor allem Detritusfresser und Zerkleinerer. Innerhalb der liminarischen Fauna, mit 21 Taxa, sind ebenfalls Detritusfresser und Zerkleinerer vorherrschend. Der Ernährungstypus kann auch den geringen Anteil bestimmter Insekten in Quellen erklären, wie beispielsweise bei den *Ephemeroptera* (Eintagsfliegen), die als Algenabweider in anderen Gewässerabschnitten der Bäche und Flüsse quantitativ deutlich stärker vertreten sind (FISCHER 1994). Nahrungsnetze in Quellen sind bislang sehr wenig untersucht, wobei neuere Ergebnisse zeigen, dass die meist oligotrophen Quellen durch einfache Nahrungsnetze mit einer Dominanz von omnivoren benthischen Invertebraten besetzt sind (ROBINSON ET AL. 2008). Untersuchungen zur Besiedlung und zur Kennzeichnung krenobionter Arten hat GÜMBEL (1976) an zwei Mittelgebirgsquellen, einer silikatischen und einer carbonatischen Quelle und dem jeweiligen Quellbach des Schlitzerlandes (Hessen) anhand von Auswertungen aus Emergenzfallen mit flugfähigen Insekten vorgenommen. Es lassen sich Unterschiede in der Besiedlung des Eu- und Hypokrenals nachweisen sowie deutliche Differenzen in der Abundanz bestimmter Arten und Präferenzen hinsichtlich der Besiedlung von Silikat- und Carbonatquelle feststellen. Auch am Beispiel der *Ostracoden*fauna (Muschelkrebse) wird ein signifikanter Unterschied in der Artzusammensetzung der Teillebensräume Eu- und Hypokrenal in zwei Rheokrenen in der Bolu Region (Nordwest-Türkei) aufgezeigt (SARI & KÜLKÖYLÜOĞLU 2008). Die lokale Bedeutung zwischen Eu- und Hypokrenal können ILMONEN ET AL. (2009) darin aufzeigen, dass die Artzusammensetzung im Eukrenal durch das Vorkommen rheophiler Arten mit Quellaffinität aus vorhandenen

Quellbächen beeinflusst wird, d.h. wenn eine Quelle einen Quellbach ausbildet, kann die Fauna im Eukrenal von Arten auch aus den angeschlossenen Bachoberläufen (Epirhithral) besiedelt werden. Unterschiedliche Besiedlungsmuster zwischen Kalk- und Silikatquellen konnte auch GLAZIER (1991) nachweisen, wobei silikatische Quellen von Insekten und carbonatische Quellen von Krebstieren (*Crustaceen*), Mollusken und Strudelwürmern dominiert werden. WEBB ET AL. (1995) konnten zwischen Sandstein- und Kalkquellen in einer Studie von 7 Quellen in Illinois (USA) keine Unterschiede der Besiedlung diagnostizieren, d.h. es überwiegen allgemein Vertreter der Strudelwürmer und *Amphipoda* (Flohkrebse). Eine Abnahme krenobionter Arten in nördlicher Richtung (Breitengrad) stellen HOFFSTEN & MALMQUIST (2000) am Beispiel von Köcherfliegen in Schweden (23 Quellen) fest.

Quellen sind für bestimmte Arten in entsprechenden biogeographischen Regionen die offensichtlich einzigsten Refugiallebensräume, was ILMONEN (2008) am Beispiel der Quellköcherfliege *Crunoecia irrorata* in Südfinnland darstellt und Konsequenzen für den Art- und Biotopschutz ableitet.

Umfangreiche Arbeiten oder Kompendien in denen ein sehr weites taxonomisches Arteninventar erhoben wurde, liegen für einige, unterschiedlich große Gebiete bzw. Regionen vor: Baumberge (Münsterland) (BEYER 1932), Berchtesgaden (GERECKE & FRANZ 2006), Himmerland (Nördliches Jütland, Dänemark), Kanada (WILLIAMS & DANKS 1991), Luxemburg (GERECKE, STOCH, MEISCH & SCHRANKEL 2005), Niederrheinische Sandplatten (Nordrhein-Westfalen) (ANDREE & TIMM 1993), Rheinland-Pfalz (SCHINDLER 2004), Trient (Trento, Italien) (CANTONATI, BERTUZZI & SPITALE 2007), Weißrussland (NESTEROVICH 1996). Für die Bundesländer Nordrhein-Westfalen (LISCHEWSKI 1999) und Hessen (ZAENKER 2001) werden faunistische Quellenkataster bearbeitet bzw. liegen Grunddatenerfassungen vor. Weitere Untersuchungen hatten das Ziel, sehr spezielle Taxagruppen (z.B. *Acar*) und auch besondere Faunenelemente, wie z.B. nur die Meiofauna zu kennzeichnen (GERECKE ET AL. 1998, SÄRKKÄ, LEVONEN & MÄKELÄ 1997).

Hinsichtlich der Erforschung quellbewohnender Tiere stellt ZOLLHÖFER (1997) fest: „Faunistisch dagegen sind zwar inzwischen eine große Anzahl von Quellen beschrieben, die Zuordnung typischer Tiergesellschaften zu bestimmten Quellformationen steckt jedoch noch in ihren Anfängen [...] und mit einem universellen oder zumindest für Mitteleuropa gültigen System ist vorerst nicht zu rechnen“ (ZOLLHÖFER 1997:13). Einen ersten Ansatz für eine überregionale Quellzönose ähnlich der Syntaxonomie der Pflanzensoziologie hat GAUTERIN (1999) am Beispiel der *Crenobia alpina*-*Bythinella dunkeri*-Zoozönose vorgeschlagen. Diese Gemeinschaft kennzeichnet perennierende Helokrenen mit mineralischem Grobsubstrat und organischem Anteil sowie der Pflanzengesellschaft *Chrysosplenietum oppositifolii* und *Caricetum remotae* am Beispiel von Untersuchungen im Siegerland. Charakterarten sind *Bythinella dunkeri* (Dunkers Quellschnecke), *Crenobia alpina* (Alpenstrudelwurm), *Crunoecia irrorata* (Quellköcherfliege), und *Sericostoma cf. personatum* (Maskenköcherfliege). Begleitarten sind *Niphargus* sp. (Grundwasserflohkrebs), *Elodes* sp. (Sumpfkäfer), *Thaumalea* sp. (Dunkelmücke), *Micropterna cf. lateralis* (Köcherfliege), *Ulomyia* sp. (Schmetterlingsmücke), *Anacaena globulus* (Wasserkäfer), *Eiseniella traedra* (Ufer- oder Wasserregenwurm), *Ormosia* sp. (Stelzmücke) sowie Taxa der Familien *Chironomidae* (Zuckmücken), *Staphylinidae* (Kurzflügelkäfer) und *Tomoceridae* (Springschwänze).

Hinsichtlich der Artenzusammensetzung sollte nach CZACHOROWSKI (1999) auch berücksichtigt werden, wo das Eukrenal im Gewässersystem bzw. im Gewässernetz liegt und in welcher Dichte, d.h. wie eine Besiedlung aus anderen Gewässerabschnitten und -typen mit der räumlichen Nähe bzw. Distanz zu sehen ist (Abb. K1-7). So

gesehen kann das Vorkommen potamaler und rhithraler Arten im Eukrenal zu erklären sein. MEYER ET AL. (2007) stellen in einer Literaturlauswertung faunistischer Daten aus den USA fest, dass insbesondere naturnahe, anthropogen weitgehend unveränderte Quellen als Bestandteil von Oberläufen (headwater streams) im gesamten Gewässernetz (river network) zu einem bedeutenden Anteil der Biodiversität beitragen sowie selbst als Refugien für bestimmte Arten innerhalb des Gewässernetzes fungieren.

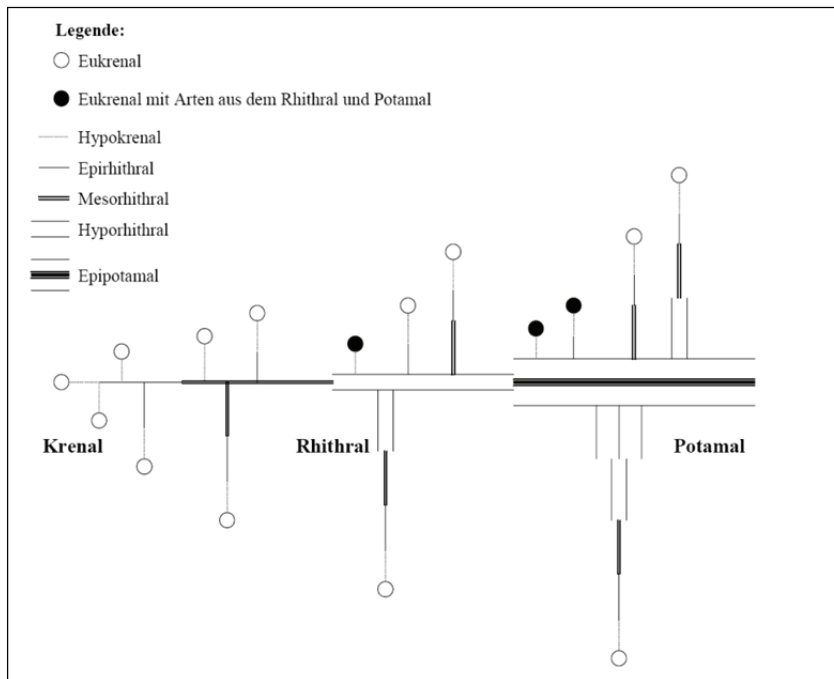


Abb. K1-7: Einordnung der Lage des Eukrenal innerhalb der Gewässerzonierung (Gewässersystem) und des Gewässernetzes. Nach CZACHOROWSKI (1999), verändert

Trotz der Kleinräumigkeit von Quellen ist innerhalb des ökologischen Wirkungsgefüges (Abb. K1-8) eine verhältnismäßig hohe Komplexität festzustellen, die das Vorkommen und die Verbreitung von Tieren bestimmen.

Ein wesentliches Defizit hydrobiologisch-limnologischer Untersuchungen zur Besiedlung von Quellen ist die Nichtberücksichtigung des Ökotoncharakters im Eukrenal, insbesondere die Beachtung von Grenzlebensräumen in ihrer horizontalen Ausrichtung von aquatischen zu amphibischen und terrestrischen Übergangssäumen. Hierbei ist ebenfalls zu erwähnen, dass der Untersuchungsumfang, d.h. die Auswahl an untersuchten Quellen häufig sehr gering ist und als wenig repräsentativ für einen Naturraum angesehen werden kann. Hierin wird für das Untersuchungsprogramm ein entsprechender Forschungsbedarf (vgl. Problemstellung Kap. 1.3) gesehen und konzeptionell eingearbeitet.

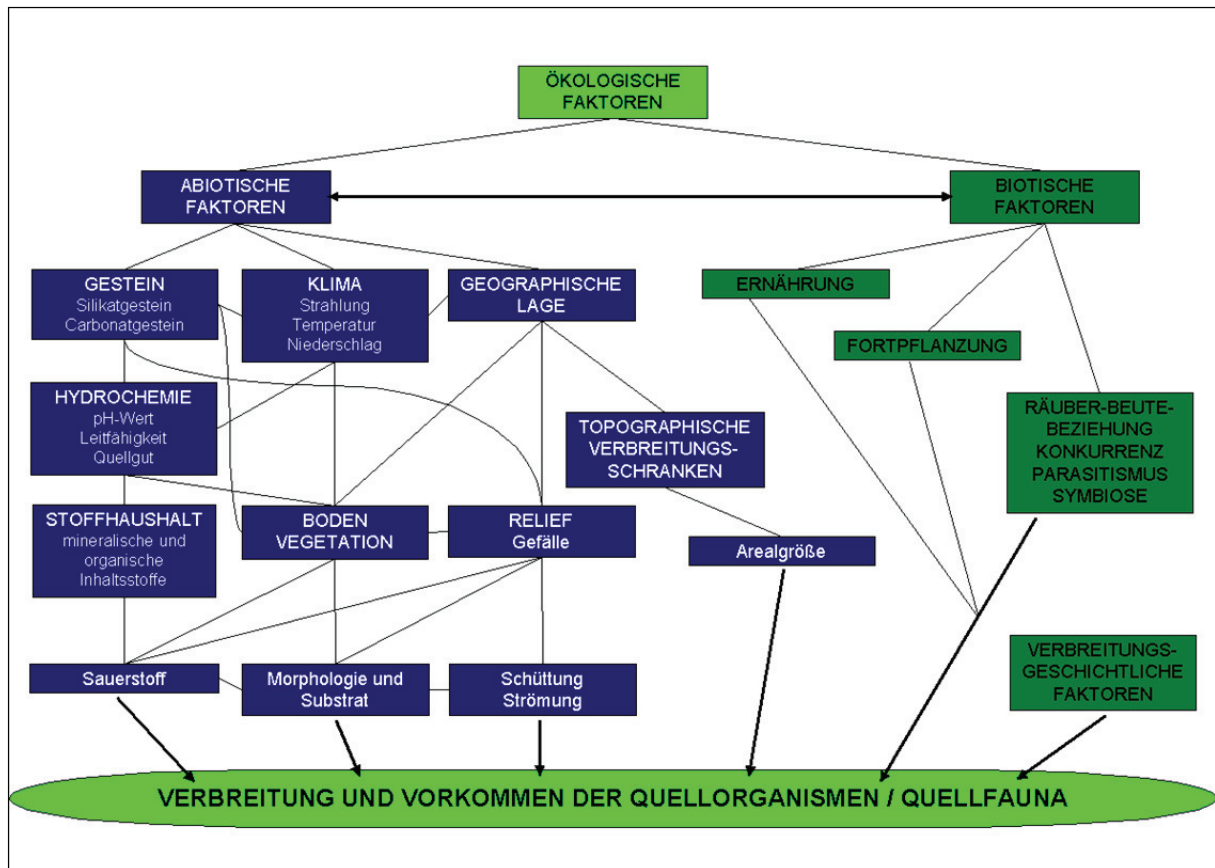


Abb. K1-8: Die wichtigsten ökologischen Verbreitungsfaktoren der Quellfauna. Eigene Darstellung nach einem Entwurf von G. Laukötter in LAUKÖTTER, LISCHESKI & HINTERLANG (1994), verändert und ergänzt

### 1.2.5 Aktueller Forschungsbedarf in der Quellökologie (Zusammenfassung)

Eine Übersicht zu aktuellen Themen der Quelforschung fasst CANTONATI (2007) bezugnehmend auf ein *review paper* zur Ökologie der Alpenquellen (CANTONATI, GERECHE & BERTUZZI 2006) sowie einer *special session* zur SIL (International Association of Theoretical and Applied Limnology) Tagung 2007 in Montreal zusammen (vgl. WILLIAMS & WILLIAMS 1998):

- Betrachtung von Quelllebensräumen im Kontext des Einzugsgebiets (Fläche) und im Zusammenhang mit dem Gewässernetz;
- Kennzeichnung der wichtigsten Charakteristika von Quelllebensräumen (Biodiversität, Azonalität, Heterogenität) und der Mosaikstruktur von Mikrohabitaten;
- Quellen als Refugiallebensräume und daraus resultierende Probleme des Natur- und Artenschutzes;
- Die Längszonierung als System von Quellgewässern (Eu- und Hypokrenal)
- Quellgewässertypologie basierend auf Charakteristika der Gewässermorphologie (Ecomorphology);
- Biologische Charakteristika in Beziehung zu physikalisch-chemischer Charakteristika sowie in Beziehung zur Gewässerversauerung und Nährstoffgehalt;
- Kennzeichnung unterschiedlicher Organismengruppen (Ein- und Wenigzeller, Pflanzen, Pilze, Makro- bis Mikrofauna);
- Neue, seltene und Rote Liste Arten, Krenozönose und Indikatoren kennzeichnen;



- Sondertypen von Quellen mit besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften;
- Langzeit-Monitoring, Umweltbeobachtung;
- Bewegungsvermögen und Habitatwechsel emergenter und nicht-emergenter zoobenthischer Arten;
- Besonderheiten / Merkmale der Krenozönose und naturschutzfachliche Probleme;
- Saisonalität in stabilen und instabilen Umgebungen (environments);
- Quellen unter dem Einfluss langfristig stabiler Klimate (Tropen, Subtropen ohne quartäre Vergletscherung);
- Lebensgemeinschaften in tropischen Quellen;
- Auswirkungen des Global Change, von Sedimentveränderungen und Trockenheit (drought effects) auf die Fauna, vor allem Zoobenthos;
- Paläolimnologie grundwasserabhängiger Ökosysteme

### 1.3 Problemstellung und Ziele der Arbeit

Ein methodisch standardisiertes und gekoppeltes (medienübergreifendes) Erfassungsverfahren der Substratkartierung und Faunabeprobung, das zur gewässerökologischen Kennzeichnung und Analyse hydromorphologischer Strukturen, deren biotischer Ausstattung und Habitatfunktion herangezogen werden kann, ist bislang für Mittelgebirgsquellen nicht angewendet worden. Der gekoppelte Ansatz besteht darin, die Fauna proportional zum Deckungsgrad der Substrattypen zu erfassen (Multi-Habitat-Sampling zur Kleinhabitat-Analyse). Die Erfassung der Gewässerstruktur von Quellen ist bisher separat neben der Erhebung der Fauna erfolgt (Ausnahme ist ein nicht standardisierter Ansatz im Monitoringprogramm alpiner Quellen im Nationalpark Berchtesgaden; vgl. FRANZ ET AL. 2006). Spezielle autökologische Untersuchungen zur Mikrohabitat-Fauna-Beziehung für Quellgewässer sind bisher selten, vor allem die Frage nach der Möglichkeit einer landschaftsökologischen Bewertung ist unbeantwortet. Es wird jedoch erwartet, dass ein solches methodisches Verfahren unter der Berücksichtigung der Dominanz bestimmter Substrate deutlichere Hinweise und Interpretationsmöglichkeiten in der Habitatanalyse über das Vorkommen und die Steitigkeit bestimmter Taxa ermöglicht. Vor allem für die in Mittelgebirgen häufig vorkommenden Helokrenen könnte eine substratspezifisch-gewässermorphologische Differenzierung des Quelltyps möglicherweise Besiedlungsmuster erkennen lassen, um faunistische Untertypen zu kennzeichnen. Das Eukrenal wird also nicht mehr nur als systemare Einheit (Makrohabitat) verstanden, sondern als Komposit von Mikrohabitaten, die für bestimmte Taxa von Bedeutung sind. Somit bekäme die Substratpräferenz neben der Quell- oder Biotoppräferenz (krenobionte, krenophile und krenoxene Taxa) einen Stellenwert zur ökologischen Bewertung. Damit möglichst zahlreiche und unterschiedliche Gewässerstrukturen in eine solche Betrachtung einfließen, wird auf naturnahe, weitestgehend ungestörte Quellen im Wald als Untersuchungsobjekt fokussiert. Flächen in Schutzgebieten wie Kernzonen von Biosphärenreservaten und Nationalparks sowie Naturwaldreservate (Bannwälder) und Naturschutzgebiete erscheinen prädestiniert. Ein weiteres Problem ist, dass der Ökotoncharakter substratspezifischer Untersuchungen unberücksichtigt bleibt, denn es werden meist nur spezielle aquatische Taxa des (Makrozoo-)Benthos beschrieben. Der Lebensraum ist aufgrund der kleinräumigen Wasser-Land-Vernetzung jedoch über einen rein aquatischen Bereich hinaus relevant und stellt eine gewässertypspezifische Besonderheit dar, die in eine Substratkartierung mit Faunabeprobung einbezogen werden sollte. Weiterhin fehlen in Deutschland generell regionalspezifisch-

naturraumbezogene faunistische Inventarisierungen im Eukrenal sowie Grundlagen-  
daten zu Lage und Zustand der Quellen, so das biogeographische und naturschutz-  
fachliche Kenntnislücken zu beheben sind. Hierbei bleibt auch der Wald als Quellum-  
feld in Mittelgebirgsregionen und deren Einfluss auf die Gewässermorphologie und  
Strukturheterogenität (Vielfalt) meist völlig unberücksichtigt. Lassen sich Beziehun-  
gen zwischen bestimmten Waldformen (Quell-/Bruch-, Laub-, Misch- und Nadelwald)  
und der Substratvielfalt und damit wiederum zur Artenvielfalt in Quellen aufzeigen,  
wenn diese Problemstellung bereits in einem Erfassungsprogramm berücksichtigt  
wird. Die Untersuchung von Substrattypen und deren Habitatfunktion sollte aber  
auch in einem skalenübergreifenden, räumlichen Ansatz gesehen werden. Denn wei-  
tere naturraumspezifische Standortfaktoren haben einen Einfluss auf die Besiedlung  
(vgl. Abb. K1-8). Damit regionalbezogene Unterschiede ansatzweise berücksichtigt  
werden, sollten verschiedene Untersuchungsgebiete mit unterschiedlichem geologi-  
schen Untergrund verglichen werden. Das Eukrenal sollte nicht losgelöst von seinem  
näheren Umfeld und dem Naturraum in dem es liegt, letztendlich dem oberirdischen  
Einzugsgebiet, das verschiedene Umweltfaktoren (Medien) repräsentiert, gesehen  
werden.

Aus dem Stand der Forschung und der Problemstellung werden folgende Ziele für  
diese Arbeit abgeleitet:

- Eine exemplarische regionalspezifische Inventarisierung und vergleichende  
Studie der Wirbellosen-Fauna von Quellgewässern in bislang nicht oder nur  
wenig untersuchten Gebieten und Naturräumen der deutschen Mittelgebirgs-  
schwelle unter Berücksichtigung des Ökotoncharakters, d.h. der Einbeziehung  
aquatischer und terrestrischer Übergangsbereiche;
- Entwicklung eines standardisiert-integrativen Verfahrens zur Substratkartierung  
und Fauna-Beprobung (Multi-Habitat-Sampling) für Quellgewässer, das Makro-  
und Meiofauna erfasst und aufsammlungsmethodisch der Kleinräumigkeit von  
Quellen gerecht wird;
- Kennzeichnung der Substratpräferenz der Taxa zur bioindikatorischen Beurtei-  
lung und substratspezifischen Differenzierung gewässermorphologischer Habi-  
tattypen von Mittelgebirgs-Waldquellen;
- Handlungsempfehlungen zum Quellschutz für die forstwirtschaftliche Praxis.

Die vorliegende Arbeit verfolgt im Wesentlichen die drei nachstehenden Fragestellungen:

**Frage 1**

Gibt es Substratpräferenzen bestimmter Taxa (Art, Gattung, Familie) unter Berücksichtigung des Ökotoncharakters von Quellen?

**Frage 2**

Welche Funktion hat das Substrat bzw. der Substrattyp als Mikrohabitat für die Fauna?

**Frage 3**

Lässt sich eine faunistische Relevanz substratspezifischer Habitattypen für Quellgewässer feststellen?

Die Fragen sind Gegenstand der Diskussion in Kapitel 6 und werden entsprechend der hier formulierten Ziele erörtert.

## 2. Untersuchungsgebiete

Die Auswahl der Untersuchungsgebiete erfolgte aufgrund von zwei Hauptkriterien. Erstens wurden nur Waldquellen untersucht, um eine möglichst vielfältige Auswahl unterschiedlicher Substrattypen zu gewährleisten. Deshalb wurden gezielt bestimmte Schutzgebietskategorien in Waldlandschaften wie Naturwaldreservat, Nationalpark, Kernzone im Biosphärenreservat oder Naturschutzgebiet ausgesucht, um entsprechend vielfältige gewässermorphologische Kleinstrukturen anzutreffen. Eine unterschiedliche Boden- bzw. Landnutzung im Wald ist in der Kulturlandschaft impliziert zu erwarten, so dass anthropogene Beeinflussungen wie Quelfassungen oder forstwirtschaftliche Nutzung bewusst einbezogen wurden. Zweitens wurden Gebiete ausgewählt, die möglichst wenig bzw. nicht quellökologisch untersucht wurden, um regionale Kenntnislücken zum Arteninventar sowie zur standörtlichen Kennzeichnung zu schließen.

Eine allgemeine Einordnung der Untersuchungsgebiete in die naturräumliche Gliederung Deutschlands und eine Übersicht zur Lage der Untersuchungsgebiete gibt Abb. K2-1.

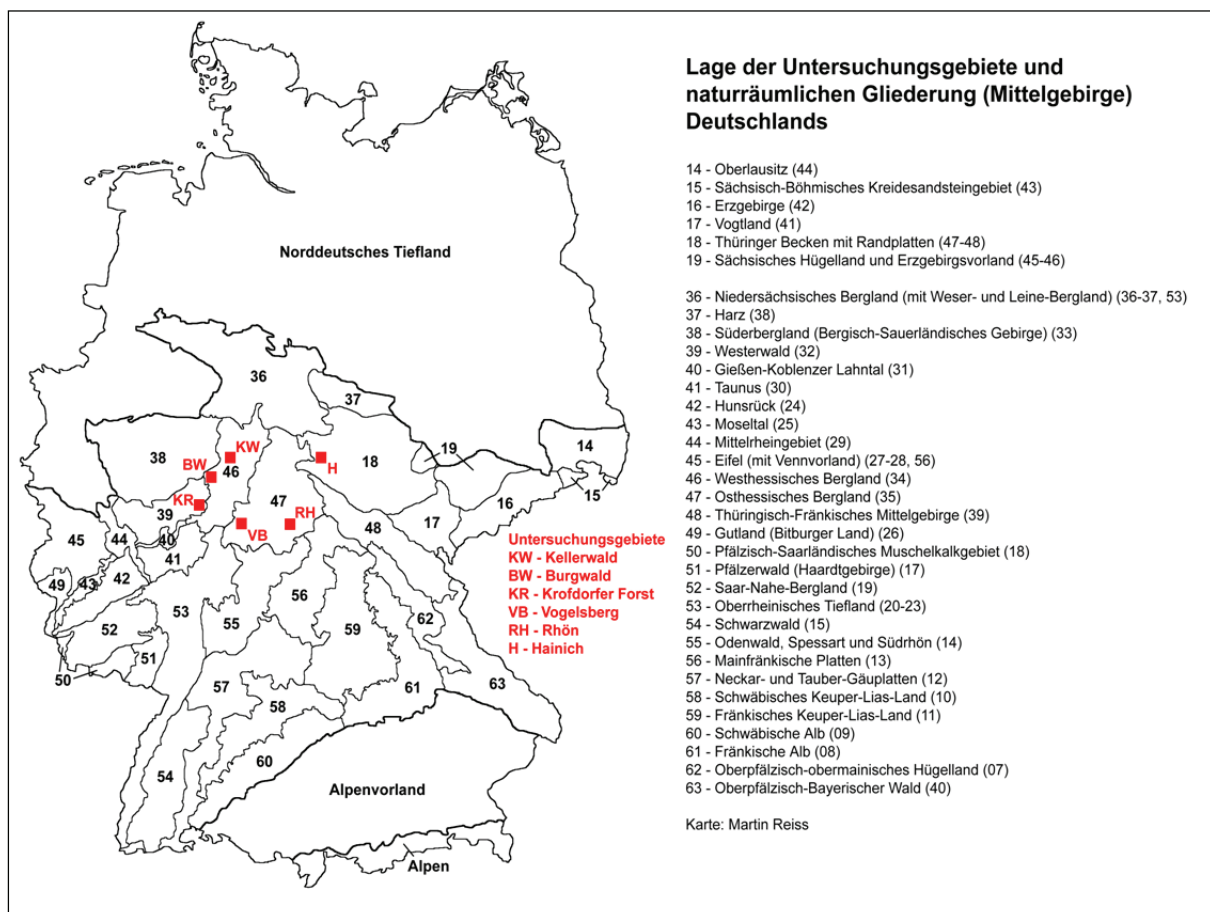


Abb. K2-1: Lage der Untersuchungsgebiete und naturräumliche Gliederung Deutschlands. Kartengrundlage HÄNSGEN, LENTZ & TZSCHASCHEL (2010). Einteilung nach den biogeographischen Regionen nach SSYMANCK ET AL. 1998; in Klammern die Naturräume nach MEYNEN ET AL. 1960. Eigene Darstellung

Die Untersuchungsgebiete liegen im zentralen Bereich der Deutschen Mittelgebirgsschwelle (nach LIEDTKE 2002 in HÄNSGEN, LENTZ & TZSCHASCHEL 2010). Insgesamt konnten 152 Quellen in 6 unterschiedlichen Mittelgebirgslandschaften in Hessen (Kellerwald, Burgwald, Krofdorfer Forst, Niddahänge im Hohen Vogelsberg, Schaf-

stein in der Rhön) und Thüringen (Hainich) untersucht werden. Eine Übersicht mit einer naturräumlichen Kurzkennzeichnung sowie der Anzahl der untersuchten Quellen in dem jeweiligen Naturraum gibt Tab. K2-1.

Untersuchungsgebiet	Naturräumliche Haupteinheit	Geologischer Untergrund	Waldgesellschaft	Anzahl untersuchter Quellen
<b>Niddahänge</b> (Naturwaldreservat, NSG)	<b>Vogelsberg</b> Westlicher Hoher Vogelsberg (bis 660 mNN)	Basanit, Alkalibasalt, Tholeiitischer Basalt, Nephelinit (Vulkanische Gesteine des Miozän)	Hainsimsen-Buchenwald, Erlensumpfwald und Erlbruchwald, Feuchter Bergahorn-Eschenwald örtlich mit Erlensumpfwald	<b>24</b>
<b>Schafstein</b> (Kernzone Biosphärenreservat, NSG)	<b>Rhön</b> Wasserkuppenrhön (bis 831 mNN)	Basanit, Alkalibasalt, Tholeiitischer Basalt, Nephelinit (Vulkanische Gesteine des Miozän)	Hainsimsen-Buchenwald, Flattergras-Hainsimsen-Buchenwald, Birken-Ebischen-Sauerhumus-Blockwald, Sommerlinden-Bergulmen-Blockschuttwald	<b>9</b>
<b>Hainich</b> (Nationalpark Hainich)	<b>Hainich-Dün-Hainleite</b> Hainich (bis 494 mNN)	Kalkstein, Mergelstein (Muschelkalk)	Waldgersten-Buchenwald, Orchideen-Buchenwald, Waldmeister-Buchenwald, Eichen-Hainbuchenwald	<b>11</b>
<b>Nördlicher Burgwald</b> (Naturwaldreservat, NSG)	<b>Burgwald</b> Nördlicher Burgwald (bis 440 mNN)	Sandstein (Mittlerer und Oberer Buntsandstein)	Hainsimsen-Buchenwald, Kiefer- und Fichtenforst	<b>30</b>
<b>Kellerwald</b> (Nationalpark Kellerwald-Edersee)	<b>Kellerwald</b> Große Hardt (bis 626 mNN)	Tonschiefer, Grauwacke, Konglomerat, Kalkstein (Unterkarbon)	Hainsimsen-Buchenwald, Flattergras-Hainsimsen-Buchenwald	<b>40</b>
<b>Krofdorfer Forst</b> (inkl. Forsthydrologisches Untersuchungsgebiet)	<b>Gladenbacher Bergland</b> Krofdorf-Königsberger Forst (bis 400 mNN)	Quarzwacken, Grauwacken (Oberdevon)	Hainsimsen-Buchenwald, Fichtenforst	<b>38</b>
<b>Insgesamt (Anzahl)</b>				<b>152</b>

Tab. K2-1: Tabellarische Übersicht zu den Untersuchungsgebieten mit der Anzahl der jeweils untersuchten Quellen. Die Farbgebung orientiert sich an der Farbcodierung der geologischen Karte. Eigene Darstellung

Als Kartengrundlage zur Darstellung der untersuchten Quellen in Übersichtskarten (Abb. K2-2 bis Abb. K2-7) wird die thematische Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung im Maßstab 1:50.000 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie verwendet. Die Klassifizierung weist Flächenbereiche mit unterschiedlichen Standorteigenschaften aus, die vor allem durch den Wasser- und Nährstoffhaushalt gekennzeichnet sind. Eine Legende befindet sich im Anhang. Lediglich für das Untersuchungsgebiet Hainich lag eine solche Kartengrundlage nicht vor. Hier wird auf die bodengeologische Konzeptkarte zurückgegriffen.



## 2.1 Große Hardt (Kellerwald)

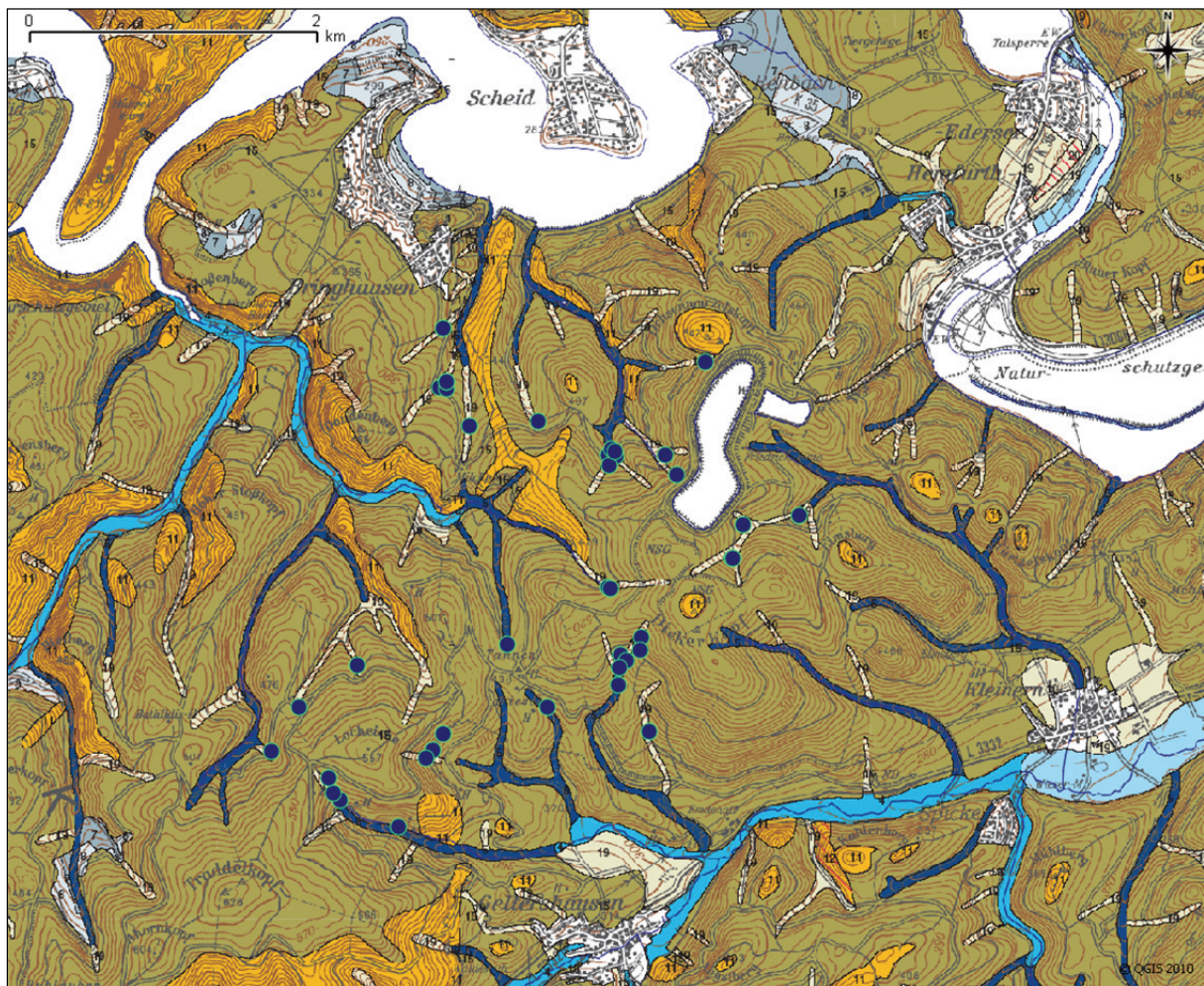


Abb. K2-2: Lage der Quellen im Kellerwald (Kartengrundlage: Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung Blatt L4918 Frankenberg und Blatt L4920 Fritzlar). Maßstab 1:30.000. Eigene Darstellung (mit QGIS). Legende siehe Anhang

### 2.1.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung

Die naturräumliche Haupteinheit Kellerwald (344) gehört zur Haupteinheitengruppe Westhessisches Berg- und Senkenland (34) nach KLAUSING (1988). Der Naturraum Große Hardt (344.3) liegt unmittelbar südlich des Edersees bzw. der aufgestauten Eder (Herzhagen-Hemfurther Edertal). Mit einer Flächengröße von 40,78 km<sup>2</sup> bildet der Naturraum den zentralen Teil des Nationalparks Kellerwald-Edersee (rund 57 km<sup>2</sup>) und hat einen Flächenanteil von 11,8 Prozent an der naturräumlichen Haupteinheit Kellerwald (344).

### 2.1.2 Geologischer Untergrund und Relief

„Der Kellerwald ist ein Ausläufer des Rheinischen Schiefergebirges, der sich halbinselförmig in das hessische Tafelland vorschiebt“ (RÜHL 1967:57). Als der östlichste Vorsprung des paläozoischen Rheinischen Schiefergebirges liegt der Kellerwald zwischen der Korbacher Bucht im Norden und der Frankfurter Bucht im Süden und erstreckt sich in Nordwest-Südost verlaufender Richtung bis an die Buntsandsteinschichten der Ostwaldecker Randsenken und dem anschließenden Schwalmatal (THEWS 1996, GÜK 300 HESSEN). Die Strukturen des inneren Aufbaus zeigen die für

das Rheinische Schiefergebirge typisch von Südwest nach Nordost verlaufende Streichrichtung (THEWS 1996). Das Untersuchungsgebiet Große Hardt wird hauptsächlich aus Tonschiefern und Grauwacken der sog. Kulmgrauwacke und dem Kulmtonschiefer der obersten Schicht im Unterkarbon (Dinant) aufgebaut (GK 25 4820, GÜK 300 HESSEN). Die Fazies der Kulmgrauwacke kennzeichnet die abschließende Sedimentation des Unterkarbons im östlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges und ist den Fossilzonen der Stufe des *Goniatites* zuzuordnen, benannt nach den Leitfossilien der *Goniatitida*, aus der Ordnung der Ammoniten (THEWS 1996, HORN, KULICK & MEISCHNER 1973). Grauwacken lassen sich als ein Produkt von Trübeströmen in marinen Bereichen, sog. Turbidite interpretieren und weisen eine schlechte Kornrundung im Bereich von Tonen bis Kiesen auf, wobei meist gröbere Bruchstücke in einer feinkörnigen Matrix eingebunden sind (ROTHE 1994). Das Gestein ist aufgrund der hohen Druckfestigkeit sehr verwitterungsbeständig und repräsentiert die zahlreichen Bergkuppen im Untersuchungsgebiet. In der Südostabdachung in Richtung Wesebachtal finden sich in den Hangunterbereichen Kieselschiefer und Alaunschiefer der Pericyclus-Stufe des Unterkarbon (GK 25 4820). Holozäne Talfüllungen bestehen überwiegend aus Solifluktionsschuttbildungen mit Lösslehm (GK 25 4820). Die strukturgeologischen Einheiten im Nördlichen Kellerwald sind durch flache Überschiebungen voneinander getrennt (MEISCHNER 1991). Tektonisch liegt das Untersuchungsgebiet im Grenzbereich zwischen dem Nordflügel des Hundsdorfer Sattels (Südostabdachung zum Wesebachtal) und der Dill-Eder-Mulde (Nordwestabdachung zum Edersee), mit der dazwischen befindlichen Ermerod- und Hemfurther-Mulde (HEMPFLER, STEINMETZ 2006, 1. Beiblatt zur GK 25 4820).

Die Vielfalt des geomorphologischen Formenschatz des Kellerwaldes beschreibt SANDNER (1956). Das paläozoische Bergland des Kellerwaldes hebt sich gegenüber seinen Randgebieten, der Hessischen Senke, mit rund 400 Metern topographisch deutlich als Horst ab (HEMPFLER, STEINMETZ 2006, KLAUSING 1988). Im Untersuchungsgebiet Große Hardt ist das Relief von zahlreichen Bergkuppen geprägt. Die höchste Erhebung ist der Dicke Kopf (602 mNN), die wie alle Vollformen im Gebiet meist von annähernd radial angeordneten, tief eingekerbten Tälern mit zum Teil schroff geneigten Talflanken abgegrenzt wird. Im Norden zum Edersee und im Süden zum Wesebachtal hin, steigen die Berghänge auf kurzer Distanz steil an, d.h. meist zwischen 20 und 30 Meter Höhendifferenz pro 100 Meter Luftlinie (TK 25 4820, vgl. Isohypsenkarte SANDNER 1956:179). SANDNER (1956) ordnet das Relief bzw. die Vollformen einem Gebiet mit geringer Reliefauflösung, also massiven, isolierten Bergen sowie tiefen randlichen Tälern zu.

### 2.1.3 Böden

Der flächenmäßig größte Anteil der Böden im Untersuchungsgebiet Große Hardt wird aus lösslehmhaltigen Solifluktionsdecken mit basenarmen Gesteinsanteilen gebildet (BK 50 L 4920). Die vorherrschenden Bodentypen der Hanglagen sind hierbei Braunerden aus 2 bis 6 Dezimeter mächtiger Fließerde in der Hauptlage über Fließschutt in der Basislage mit schwach metamorph überprägten siliziklastischem Sedimentgestein (BK 50 L 4920). Die Bodenart ist meist feinsandiger Lehm, wobei der Sandanteil zunimmt, je mehr Grauwacke als Gesteinskomponente der Schuttdecken auftritt (SEMMELE 1973). Die Bergkuppen hingegen werden aus lösslehmarmen Solifluktionsdecken mit basenarmen Gesteinsanteilen gebildet. Die Bodentypen sind hier Braunerden mit Regosolen und Rankern aus 1 bis 3 Dezimeter Fließerde in der Hauptlage über Fließschutt in der Basislage mit schwach metamorph überprägten siliziklastischem Sedimentgestein (BK 50 L 4920). Des Weiteren finden sich in den



Taloberläufen Böden aus Abschwemmmassen mit basenarmen Gesteinsanteilen. Bodentypen sind dabei Pseudogley-Kolluvisole mit Hanggley-Kolluvisole und Kolluvisolen aus 6 bis über 10 Dezimeter mächtigen Kolluvialschluff aus dem Holozän über Fließerden in der Haupt- und / oder Mittellage über Fließschutt in der Basislage mit schwach metamorph überprägten siliziklastischem Sedimentgestein sowie Metamorphiten (BK 50 L 4920). In weniger stark geneigten Oberläufen und in Mittellauf- und Unterlaufagen der Täler sind die Böden aus überwiegend fluviatilen Talbodensedimenten aufgebaut. Die Bodentypen sind hier Gleye mit Gley-Kolluvisolen sowie Hang- und Pseudogleye aus fluviatilen, kolluvialen und / oder solifluidalen Sedimenten des Holozäns oder des Pleistozäns mit schwach metamorph überprägten siliziklastischem Sedimentgestein sowie Metamorphiten (BK 50 L 4920).

Die meist flach- bis mittelgründigen Braunerden im Untersuchungsgebiet sind saure, basenarme, relativ trockene und zur Podsolierung neigende Standorte (SEMME 1973). In Tälern, aber auch in Dellen und anderen Hohlformen bildeten sich Parabraunerden aus lösslehmhaltigem Solifluktionsschutt, welche nicht selten Vergleungserscheinungen zeigen (SEMME 1973). Die Standorteigenschaften haben zu einer vorherrschend forstwirtschaftlichen Bodennutzung geführt, die mit Konstituierung des Nationalparks Kellerwald-Edersee zu einem überwiegenden Flächenanteil (mind. 75%) aus der menschlichen Nutzung genommen wurde (NLP 2008).

#### 2.1.4 Klimatische Kennzeichnung

Der Kellerwald liegt am westlichen Rand eines Übergangsbereiches zwischen ozeanisch und kontinental geprägten Klimazonen (DWD 2003). Die Lee- bzw. Schattenlage zum Hochsauerland (Rothaargebirge) in der Hauptwindrichtung aus Südwest bis West bestimmt die klimatischen Verhältnisse maßgeblich. Der jährliche Niederschlagsmittelwert (der Jahre 1901-2000) liegt zwischen 600 mm und 800 mm (HLUG 2009), wobei nur ein geringer Anteil als Schnee fällt (NLP 2008). Die Jahresmittelwerte der Lufttemperatur liegen zwischen 6°C und 8°C (1901-2000) (HLUG 2001). Die Hauptvegetationsperiode, d.h. der Zeitraum mit einer Anzahl von Tagen über 10°C, liegt zwischen 120 bis 140 Tagen im Jahr (NLP 2008). Die mittlere Wasserbilanz (Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung) liegt im Jahresmittel zwischen 100 mm bis 400 mm (1971-2000), wobei in den Sommermonaten die Wasserbilanz nur schwach negativ (bis -40 mm im August) ausfällt (HLUG 2001). Der kleinräumige Wechsel tiefeingeschnittener Täler und steil ansteigenden Bergkuppen, führt zu vielfältig wechselnden Luv- und Leelagen mit stark beschatteten und intensiv sonnenexponierten Standorten, was ein heterogenes Kleinklima schafft (NLP 2008).

#### 2.1.5 Vegetation

Die potentiell natürliche Vegetation im Untersuchungsgebiet Große Hardt ist ausnahmslos ein typischer bodensaurer, artenarmer Hainsimsen-Buchenwald oder *Luzulo-Fagetum typicum* (BOHN 1996). Vorherrschende Baumart ist *Fagus sylvatica* (Rotbuche). Andere Baum- und Straucharten sind *Quercus petraea* (Traubeneiche), *Sorbus aucuparia* (Vogelbeere) sowie in der Krautschicht *Luzula albida* (Weißliche Hainsimse), *Deschampsia flexuosa* (Draht-Schmieie), *Polytrichum formosum* (Frauenhaarmoos), *Carex pilulifera* (Pillensegge), *Vaccinium myrtillus* (Heidelbeere), *Dicranella heteromalla* (Kleingabelzahnmoos), also vor allem Seggen, Süßgräser und Moose als Säurezeiger (BOHN 1996).

Diese Waldgesellschaft ist charakteristisch für Berg- und Hügelländer Mitteleuropas mit basen- und nährstoffarmen Silikatgesteinsböden (HOFMEISTER 1997).



Die reale Vegetation im Untersuchungsgebiet ist ein Ergebnis der Forstwirtschaft, wobei der Großteil der Fläche (80 bis 85 Prozent) einem naturnahen Wald in Annäherung an die potentiell natürliche Vegetation entspricht (NLP 2008). Allgemein typisch ist der hohe Bewaldungsgrad des Kellerwaldes mit ca. 80 Prozent Waldbedeckung, den RUHL (1967) bereits vor über 40 Jahren als naturräumliche Besonderheit herausstellt. Gebietsfremde und forstwirtschaftliche Baumarten sollen im Nationalpark sukzessive einer Naturwaldentwicklung weichen (NLP 2008).

Weitere Waldgesellschaften sind kleinräumig und mosaikartig verteilt, meist handelt es sich um extrazonale Vegetation, wie Schutt- und Blockhalden oder besonders einstrahlungs- bzw. sonnenexponierte Hänge mit Edellaubbaumwäldern und Eichenwäldern (*Tilia*-, *Acer*- und *Quercus*-Arten; Linde, Ahorn und Eiche). Die zahlreichen Bachläufe und Quellbereiche werden von Erlen- und Eschenwäldern (*Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*) begleitet. Lokal landschaftsbildprägend sind vor allem auf den Talwiesen Obstbaum- und Rosskastanienbestände (*Malus*- und *Pyrus*-Arten, *Aesculus hippocastanum*), die zur Wildhege angepflanzt wurden (NLP 2008). Orts- und standortfremde Bepflanzungen sind vor allem Nadelforste (*Picea abies*, *Pseudotsuga menziesii*, *Larix decidua*) und lokale Anpflanzungen von *Robinia pseudoacacia* (Robinie oder Pseudoakazie), *Quercus rubra* (Roteiche) oder *Prunus serotina* (Spätbühende Traubenkirsche) (NLP 2008). Neben der Baum- bzw. Waldvegetation gibt es eine Vielzahl kleinräumig verbreiteter azonaler Vegetation aus Wiesen- und Offenlandvegetation oder Gehölzrandvegetation. Eine Übersicht der Biotoptypen und der Gebietsflora findet sich in NLP (2008) und BECKER, FREDE, LEHMANN (1996).

### 2.1.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung

Die Waldbäche im Untersuchungsgebiet Große Hardt können allesamt dem Einzugsgebiet der Eder zugeordnet werden, wobei nur die nördlichen Teileinzugsgebiete mit der lokalen Wasserscheide Dicker Kopf direkt tributär zur Eder sind. Die Teileinzugsgebiete südlich des Dicken Kopfs fließen über den Wesebach erst weiter östlich, unterhalb von Edertal, also im Unterwasserbereich der Ederseestaumauer, der Eder zu (HLUG 2006). Die Bachlängsprofile im Untersuchungsgebiet sind meist als steil, gestreckt und ohne konvexe oder konkave Wölbungen gekennzeichnet, denen markante Gefällelufen im Profilverlauf fehlen (SANDNER 1956). Insgesamt gibt es vier Teileinzugsgebiete im gesamten Kellerwald, wobei die ersten drei Teileinzugsgebiete (1., 2. und 3.) zum Weser-Einzugsgebiet gehören, das letzte Teileinzugsgebiet (4.) dem Rhein-Einzugsgebiet zugeordnet ist (nach SANDNER 1956, HLUG 2006 zusammengestellt):

1. Ein nordwestliches Einzugsgebiet mit den Hauptbächen Hundsbach, Bärenbach, Banfer Bach, Kessbach und Mellbach (dem Edersee tributär mit Nordwest ausgerichteten Tälern).
2. Ein nordöstliches Einzugsgebiet mit kleineren Bächen (z.B. Heimbach im Untersuchungsgebiet) die über den Wesebach der Eder mit einer Nordost gerichteten Abflussrichtung tributär sind.
3. Ein südöstliches Einzugsgebiet, welches über das System der Schwalm zur Eder tributär ist.
4. Ein südwestliches Einzugsgebiet, das dem Wohrasystem tributär ist und somit bei Kirchhain in die Ohm mündet, also dem Lahn-Einzugsgebiet zugehörig ist.

Somit haben Weser- und Rheinsystem einen Anschluss an das Gewässernetz im Naturraum Kellerwald, wobei der Anteil des Weser-Systems am oberirdischen Einzugsgebiet mehr als Zweidrittel ausmacht.

Für die sehr kleinen Bächen im Untersuchungsgebiet liegen meist keine Abflusswerte vor. Lediglich für den Mellbach, der in der Nordwestabdachung Richtung Ederstausee entwässert, sind Werte aus einer Feldmessungen vom 18. 10. 1965 zum Trockenwetterabfluss (HÖLTING 1973) bekannt. Demnach beträgt der Abfluss ( $Q$ ) 1,09 Liter pro Sekunde bezogen auf ein Einzugsgebiet ( $F_N$ ) von 2,26 km<sup>2</sup>, was einem Abflussquotienten ( $q$ ) von 0,48 l/s \* km<sup>2</sup> entspricht. Allgemein ist die Wasserführung durch die geringe Speicherfähigkeit des Gesteins als periodisch stark schwankend gekennzeichnet (RP KASSEL 2001). Die Bäche werden der Abflussklasse 1 mit einem MNQ von kleiner als 0,1 Kubikmeter pro Sekunde zugeordnet (WRRL-VIEWER).

Die unterirdischen Einzugsgebiete der Grundwasserkörper im Kellerwald sind der hydrogeologischen Teileinheit „Rheinisches Schiefergebirge – Kellerwald und Waldecker Upland“ zugeordnet, deren Grundwasserbeschaffenheit BERTHOLD (2006) für diesen Großraum mit einem mittleren pH-Wert von 6,6 und einer Karbonathärte von 7,0 ° dH kennzeichnet. Allerdings weichen die Ergebnisse der Wasseranalysen aus den unterkarbonischen Kluftgrundwasserleitern im Untersuchungsgebiet deutlich von diesen Mittelwerten ab. Nach HÖLTING (1973) beträgt der Mittelwert der Karbonathärte 19,1 ° dH und der mittlere pH-Wert 7,7. Die chemische Beschaffenheit des Grundwassers zeigt demnach eine Dominanz der Erdalkalien (Calcium 49,7 mg/l Mittelwert, Magnesium 47,7 mg/l Mittelwert) gegenüber den Alkalien (Natrium und Kalium zusammen 30,3 mg/l Mittelwert) bei einem hohen Sulfat- (39,8 mg/l Mittelwert) und geringem Chloridgehalt (10 mg/l Mittelwert) (HÖLTING 1973).

Einige wenige Quellen und Bohrungen sind Mineralquellen, die gemäß einer Gliederung der Mineralquellen nach Ionenverhältnis, von Bad Wildungen aus der Übergangszone (II.) zuzuordnen sind (2. Beiblatt zur GK 25 4820, vgl. HÖLTING 1973). Die Quellschüttung ist im Untersuchungsgebiet mit weniger als 0,2 Liter pro Sekunde überwiegend gering und die Quelldichte beträgt 2,7 Quellen pro Quadratkilometer (HÖLTING 1973, 2. Beiblatt zur GK 25 4820).

### 2.1.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung

Die Region Kellerwald-Edersee ist und war eine gering besiedelte Region (SOLLMANN, LAMM & SOLLMANN 2003). Das Untersuchungsgebiet Große Hardt ist besonders gekennzeichnet durch das Fehlen menschlicher Siedlungen. Erst im 7. Jahrhundert, mit der sächsisch-fränkischen Landnahme, begann eine erste Rodungsphase (SOLLMANN, LAMM & SOLLMANN 2003). Vor allem kirchliche Gründungen sind in der Region zu nennen, die als Wald- und Höhenkirchen gegründet wurden (z.B. die Siegelskirche bei Schmittlotheim). Einfluss nahm die Konstituierung ortsfester Siedlungen in den Randlagen zum Kellerwald, da entsprechend Brennholz benötigt wurde, so dass die Niederwaldbewirtschaftung teilweise die vorher dominierende Rotbuche durch die Hainbuche (*Carpinus betulus*) verdrängte (SOLLMANN, LAMM & SOLLMANN 2003). Die Waldweide führte ebenfalls zu nennenswerten Degradationen, vor allem in den Eichenwäldern, die sich besonders zur Mast eignen (Eicheln). In diese Zeit fällt auch die Gründung des Zisterzienserklosters Haina (PANEK 2006). Das Spätmittelalter war im Kellerwald eine Zeit der Waldregeneration, da der Bevölkerungsrückgang und das Wüstfallen von Siedlungen und Höfen die Ressourcennutzung (Brennholz) merklich reduzierte (SOLLMANN, LAMM & SOLLMANN 2003). In der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts setzte eine nennenswerte frühindustrielle Entwicklung in der Region ein, die durch den Bergbau und Eisenverhüttung gekennzeichnet ist (PANEK 2006). Die Köh-

lerei zur Produktion von Holzkohle betraf die Hochlagen im Untersuchungsgebiet allerdings nur zum Teil (heutiges Naturwaldreservat). Der Name *Kellerwald* leitet sich vermutlich aus dem Begriff *Köhlerwald* ab (SOLLMANN, LAMM & SOLLMANN 2003). Im 19. Jahrhundert verliert der Bergbau in der Region an Bedeutung. Bereits in der Mitte des 17. Jahrhunderts begann eine planmäßige und großflächige Aufforstung, zu meist mit Nadelbäumen. Die sukzessive Verdrängung von Hute- und Niederwäldern zu geschlossenen Hochwäldern war die Folge (SOLLMANN, LAMM & SOLLMANN 2003). Der Wald wurde von den Fürsten von Waldeck und Pyrmont als Jagdgebiet (Hofjagdrevier) genutzt (PANEK 2006). Ab 1935 waren weite Teile (fast 5.000 ha) des Untersuchungsgebiets Wildschutzgebiet (Wildgatter), vor allem für Rot- und Damwild. 1988 wurde dieser Bereich als Waldschutzgebiet weiter entwickelt, wobei die Gatter im Anfang 2004 konstituierten Nationalpark weiter existieren (NLP 2008). Ende des 17. Jahrhunderts wurde in Bad Wildungen die Heilbadnutzung der mineralischen Quellen forciert, was dazu führt, dass im 19. Jahrhundert Bad Wildungen zu einem bedeutenden Bade- und Kurort wird (PANEK 2006). Der im Jahr 1914 durch die fertiggestellte Staumauer künstlich aufgestaute Edersee hat im Untersuchungsgebiet eine unmittelbare Auswirkung auf das Landschaftsbild im südlich angrenzenden Nationalpark. Ein Hochspeichersee zur Energieerzeugung aus Wasserkraft liegt im zentralen Bereich Große Hardt mitten im Nationalpark. Heute ist die Region ein bedeutendes Naherholungsgebiet, wobei im Bereich des Nationalparks Wandertourismus sowie Programme bzw. Veranstaltungen zur Umweltbildung im Vordergrund stehen (NLP 2008).



## 2.2 Nördlicher Burgwald

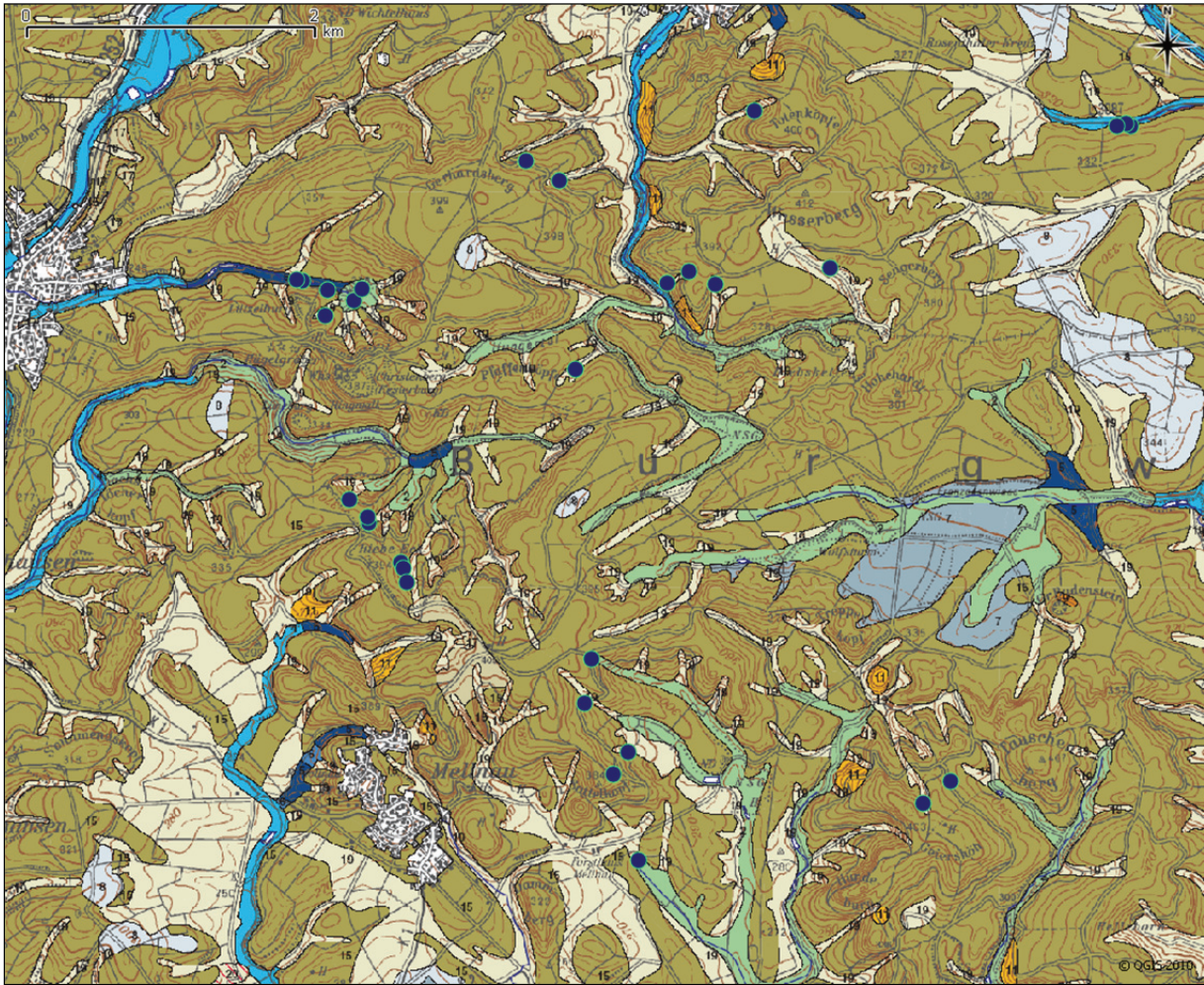


Abb. K2-3: Lage der Quellen im Burgwald (Kartengrundlage: Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung Blatt L5118 Marburg). Maßstab 1:30.000. Eigene Darstellung (mit QGIS). Legende siehe Anhang

### 2.2.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung

Der Naturraum Nördlicher Burgwald ist der naturräumlichen Haupteinheit Burgwald (345) zugehörig, die wiederum der Haupteinheitengruppe Westhessisches Berg- und Senkenland (34) zugeordnet ist. Der Nördliche Burgwald hat eine Flächengröße von 204,79 km<sup>2</sup> und damit einen Flächenanteil von 41,4 Prozent an der Haupteinheit Burgwald (KLAUSING 1988).

### 2.2.2 Geologischer Untergrund und Relief

Der Burgwald ist eine Buntsandstein-Tafelscholle (zwischen 300 und 400 mNN) die als Bestandteil der Frankenger (Trias-) Bucht im Südwesten, Westen, Norden und Nordosten vom Rheinischen Schiefergebirge umrahmt wird (SANDNER 1960, KUPFAHL 1985). Im Süden schließt das Amöneburger Becken mit tertiären Sedimenten und Basalten an (KLAUSING 1988). Der Buntsandstein geht im Osten in die Oberhessische Schwelle über (GÜK 300 HESSEN). Das Untersuchungsgebiet Nördlicher Burgwald wird vom Ostrand der Wetschaftsenke aus, im Wesentlichen sukzessive mit dem Höhenanstieg von unterschiedlichen Sandsteinen des Unteren, Mittleren und Oberen Buntsandstein aufgebaut, wobei eine heterogene Verteilung des an der Oberfläche

anstehenden Gesteins durch zahlreiche Verwerfungen gegeben ist (GK 25 5018). Den größten Anteil am geologischen Aufbau haben die jüngeren Schichten des Mittleren Buntsandsteins, insbesondere Detfurth- und Hardeggenfolge (KUPFAHL 1985). Die Gesteine des Mittleren Buntsandstein sind vornehmlich grobkörnige Sandsteine mit zum Teil geröllführenden Sedimenten, die TIETZE (1982) als fluviatile Ablagerungen verwildeter Flüsse mit hoher Fließgeschwindigkeit interpretiert. Das Gebiet wird als Randfazies mit einer maximalen Mächtigkeit von ca. 270 Metern gedeutet, wo unter semiaridem Klima Abtragungsprodukte ausgedehnter Hochgebiete von flachen Fließgewässern in das Germanische Becken transportiert wurden (KUPFAHL 1985), zudem (Spuren- oder Ichno-)Fossilienfunde, vor allem mit *Corophioides*-Arten (Tümpel, Lagunen), auf ein halophiles, übersalztes Milieu deuten (MADER 1984). Besonderheiten sind der Kleine und Große Baden Stein mit geringmächtigen Alkali-Olivinbasalt-Kuppen tertiärer Vulkanbildungen (GK 25 5018, SANDNER 1960). In den Hanglagen finden sich im Untersuchungsgebiet größere Flächen pleistozäner Löss-lehmablagerungen, die vor allem im Mellnauer Graben weite Flächen einnehmen (GK 25 5018). Die Talebenen und Auen der Burgwaldbäche sind mit holozänen Auelehmen verfüllt, zum Teil kam es zu Hochmoorbildungen, wie im Bereich der Franzosenwiesen (Rotes Wasser) (GK 25 5018).

Tektonisch wird der zentrale Bereich des Mittleren Buntsandsteins im Untersuchungsgebiet der stark gestörten Burgwaldmulde, mit ausgeprägter Bruchfaltentektonik (jungkimmerische Faltungsphase zum Ende der Jura-Zeit) und einer Nordwest bis Nordnordwest (flach herzynisch) gerichteten Streichrichtung zugeordnet (Beiblatt zur GK 25 5018, KUPFAHL 1985).

Das Relief der Burgwaldhochfläche kann als flachwelliges Plateau charakterisiert werden (OPP 2005, PLETSCH 1991), das KUPFAHL (1985) als oligozäne Rumpfflächen kennzeichnet, dessen Bergland im Miozän eingeebnet wurde (KUPFAHL & ANDRES 1983). Die Burgwaldhochfläche bildet im Westen eine markante Randstufe, die im Norden schwächer ausgeprägt ist (SANDNER 1960). Höchste Erhebung im Nördlichen Burgwald ist der Tauschenberg mit 406,7 mNN (TK 25 5018). Die Täler sind in den höheren Lagen im Querprofil überwiegend muldenförmig, in unteren Lagen meist eng kastenartig ausgeprägt, wobei zahlreiche Trockentäler ausgebildet sind (SANDNER 1960).

### 2.2.3 Böden

Der Nördliche Burgwald wird vor allem im zentralen Bereich der Burgwaldmulde dominiert von Böden aus lössleharmen Solifluktionsschuttdecken mit sauren Gesteinsanteilen, vorwiegend Braunerden mit Podsol-Braunerden aus 3 bis 6, örtlich 1 bis 3 Dezimeter Fließerde (Hauptlage) über Fließschutt (Basislage) mit Sand- bis Tonstein (Buntsandstein) und Beimischungen von (Laacher-)Bimstuff (BK 50 L 5118, OPP 2005a, SCHRADER 1985). Auf einigen Flächen haben sich Lockerbraunerden aus 3 bis 6 Dezimeter Bimsaschefließerde (Alleröd) über Fließschutt (Basislage) mit Sand- bis Tonstein (Buntsandstein) (BK 50 L 5118) gebildet. In den westlich und südwestlich gerichteten Mittellagen des Plateaus kommen Pseudogley-Parabraunerden mit Parabraunerden aus pleistozänem Löss vor, wobei die größten Flächen vom Mellnauer Graben eingenommen werden (BK 50 L 5118). Diese Böden sind alte Ackerböden und im Untersuchungsgebiet aus landwirtschaftlicher Sicht die wertvollsten Pflanzenstandorte (SCHRADER 1985). Die unteren Randlagen des Nördlichen Burgwalds zur Wetschaftsenke (Unterer Buntsandstein) sind gekennzeichnet durch Braunerden aus 2 bis 6 Dezimeter Fließerde (Hauptlage) über Fließschutt (Basislage) mit Sand- bis Tonstein (BK 50 L 5118). In den obersten Talabschnitten, meist



Trockentäler, finden sich Kolluvisole mit Pseudogley-Kolluvisolen aus 6 bis über 10 Dezimeter Kolluvisolsand, -schluff oder -lehm (Holozän) über Fließerden (Hauptlage und/oder Mittellage) und/oder Fließschutt (Basislage) mit siliziklastischem Sedimentgestein (BK 50 L 5118). Quellenmoorgleye mit Hochmoorgleyen aus 2 bis 3 Dezimeter Torf (Holozän) über 12 bis über 18 Dezimeter Kolluvial- oder Auensediment (Holozän) oder fluviatilen Sedimenten (Pleistozän) oder Fließschutt (Basislage) mit Sand- bis Tonstein (Buntsandstein) haben sich in den oberen Talanfängen gebildet, in denen kleine Quellbäche ihren Anfang haben (BK 50 L 5118). Mittlere und untere Tallagen sowie breitere Täler in oberen Lagen werden durch Auengleye aus 4 bis 8, z.T. über 10 Dezimeter Auensand, -schluff oder -lehm (Holozän) über Terrassensand (Pleistozän) und Auengleye mit Gleyen aus über 10 Dezimeter Auenschluff, -lehm und/oder -ton, örtlich mit Kolluvialschluff (Holozän) repräsentiert (BK 50 L 5118). Insgesamt ergibt sich im Nördlichen Burgwald eine gesteins- und hangformabhängige Differenzierung und ein Mosaik von Bodentypen und Bodengesellschaften (SABEL 2005). Die Böden sind überwiegend nährstoffarm, flachgründig, podsoliert, stark sauer und besitzen eine geringe Basensättigung (SANDNER 1960). Im Bereich Christenberg gibt es einen Bodenlehrpfad, der landschafts- bzw. standorttypische Bodentypen und deren Genese im Gelände vermittelt (JOST & OPP 2006).

### 2.2.4 Klimatische Kennzeichnung

Die großklimatische Einordnung des Burgwaldes ist ähnlich zu kennzeichnen wie die des Kellerwaldes. Auch der Burgwald ist durch die Leelage zum westlich gelegenen Rheinischen Schiefergebirge geprägt, wobei das Gebiet am westlichen Rand eines breiten Übergangssaumes zwischen ozeanischem und kontinentalem Klima liegt (DWD 2003). Das Untersuchungsgebiet empfängt, bezogen auf die Jahresmittelwerte, 600 bis 700 mm Niederschlag (Jahre 1901-2000), wobei der Nördliche Burgwald gegenüber dem südlichen Teil die etwas höheren Niederschlagssummen erhält (HLUG 2009). Die mittlere Tagesmitteltemperatur der Luft beträgt 7°C bis 8°C (1901-2000) (HLUG 2001). Die Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung, also die mittlere Wasserbilanz (1971-2000) liegt zwischen 100 mm und 200 mm, wobei die Sommermonate nur eine schwach negative Wasserbilanz (bis -30 mm im August) aufweisen (HLUG 2001). Geländeklimatologische Differenzierungen ergeben sich insbesondere in den Tal- und Beckenlagen, die durch Kaltluft beeinflusst werden und geringere Temperaturmittelwerte sowie höhere Jahresamplituden aufzeigen und deren bioklimatisches Potential als Frischluftentstehungsgebiete einzustufen sind (RP GIEßEN 1998).

### 2.2.5 Vegetation

Die potentiell natürliche Vegetation im Nördlichen Burgwald (im Weiteren alle Angaben nach BOHN 1996) ist überwiegend ein typischer bodensaurer, artenarmer Hainsimsen-Buchenwald oder *Luzulo-Fagetum typicum*. Die Mellnauer Senke ist charakterisiert durch einen Wechsel von typischem Hainsimsen-Buchenwald und Flattergras-Hainsimsen-Buchenwald (*Milio-Fagetum*). In den Oberläufen von Wetschaft und Rotes Wasser ist die potentiell natürliche Vegetation ein krautreicher Erlensumpfwald (*Alnion glutinosae*) der Hochlagen, örtlich mit Hainmieren-Erlenwald (*Stellario-Alnetum glutinosae*), feuchtem Bergahorn-Eschenwald (*Fraxino-Aceretum pseudoplatani*) und Schachtelhalm-Karpatenbirkenwald (*Equiseto-Betuletum carpaticae*). Die sonstigen Tallagen sind durch Hainsimsen-Stieleichen-Hainbuchen-Auenwald (*Stellario-Carpinetum*, *Luzula*-Ausbildung) einschließlich bachbegleitender

Erlenwälder (meist *Stellario-Alnetum*) gekennzeichnet. Natürliche Pflanzengesellschaften, die BOHN (1996) als wertvolle botanische Gebiete ausweist, sind die Tallagen des Quellbaches des Landgrafenborn mit der im Diebskeller anschließenden großflächigen Grundwasserblänke (Naturschutzgebiet Diebskeller / Landgrafenborn, NSG 534015), der Bach aus dem Langen Grund und die Quellbereiche im Naturwaldreservat Geiershöh mit Kleinseggen-Moorbirken-Erlensumpfwald (*Carex fusca-Alnus glutinosa*-Gesellschaft) sowie die Franzosenwiesen im Oberlaufbereich des Roten Wassers mit Kleinseggensümpfen (*Caricion fuscae*, *Caricion davallianae*) einschließlich Hundsstraußgras-Waldbinsensumpf (*Agrostio-Juncetum acutiflori*), als anthropogen bedingte Pflanzengesellschaft.

Die reale Vegetation, vor allem die Waldvegetation, ist mit dem Anbau der Kiefer Mitte des 18. Jahrhunderts am deutlichsten durch den Menschen geprägt worden, da der Burgwald zuvor ein reines Laubwaldgebiet war (BLÖCHER 1983, RÜHL 1967). Der Nördliche Burgwald ist, bis auf die baumfreien, meist landwirtschaftlich genutzten Rand- und Tallagen, eine fortwirtschaftlich genutzte Fläche mit zahlreichen Naturschutzgebieten und einzelnen kleinen FFH-Gebieten. Es kommen Hainsimsen- und Perlgrasbuchenwälder sowie Eichen-Hainbuchenwälder auf weniger feuchten Standorten vor. Bruch- und Erlensumpfwälder befinden sich auf quellig-sumpfigen Mineralböden (NITSCHKE & NITSCHKE 2009). Feuchtwiesen, kleinere Stillgewässer sowie Trockenrasen und Steilhänge sind Standorte seltener Pflanzen, z.B. Bärlapparten oder Ruderalpflanzen (NITSCHKE & NITSCHKE 2009, RP GIEßEN 1998). Eine Übersicht zu den Biotoptypen gibt MOTHES-WAGNER (1996), Flächennutzung und Entwicklungsziele beschreibt RP GIEßEN (1998) sowie Flora und Fauna in den Schutzgebieten NITSCHKE & NITSCHKE (2009).

### 2.2.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung

Das Untersuchungsgebiet Nördlicher Burgwald wird vor allem durch die Teileinzugsgebiete von Wetschaft, Rotes Wasser und Bentreff entwässert, die dem Lahn-Einzugsgebiet und somit dem Rheinsystem zugehörig sind (HLUG 2006). Der Bereich nördlich vom Schönelberger Kopf wird über die Nemphe zur Eder entwässert und ist somit dem Wesersystem zuzuordnen (HLUG 2006). Damit verläuft die Rhein-Weser-Wasserscheide unmittelbar südlich und parallel zur Eder innerhalb des Burgwaldes (BLUME 1957). Die Burgwaldbäche gehören zum Fließgewässertyp 5.1, d.h. feinmaterialreiche, silikatische Mittelgebirgsbäche mit geringerer Flussschwindigkeit und mäßigen Abflussschwankungen (WRRL-VIEWER, POTTGIEßER & SOMMERHÄUSER 2006). Die ökologische Bewertung ergibt für die meisten Bäche bzw. Oberflächenwasserkörper im Untersuchungsgebiet mit der Güteklasse 3 einen mäßigen Zustand sowie für den Oberflächenwasserkörper Rotes Wasser die Güteklasse 4 bzw. unbefriedigenden Zustand (WRRL-VIEWER). Hydromorphologisch sind die Bäche abschnittsweise in den Oberläufen in einem sehr guten bis guten Zustand der Gewässerstrukturgüte einzuordnen, allerdings führen zahlreiche Wanderbarrieren für Fische und das Makrozoobenthos sowie die Umfeldnutzung mit häufig nicht standorttypischer Bachvegetation zu deutlichen Degradationen (WRRL-VIEWER).

Ein amtlicher Pegel (Messstellennr. 25811255), der 4,5 km oberhalb der Lahn-Einmündung liegt und ein Einzugsgebiet ( $A_{E0}$ ) von 174 km<sup>2</sup> repräsentiert, existiert in Niederwetter (DGJ 2006a). Der mittlere Abfluss (MQ 1966-2006) beträgt hier 1,52 Kubikmeter pro Sekunde (1520 Liter in der Sekunde). Die hydrologischen Abfluss-extreme sind mit dem höchsten gemessenen Hochwasser (HHQ am 6.12.1965) 55,9 Kubikmeter pro Sekunde und dem niedrigsten gemessenen Niedrigwasser (NNQ am 22.8.1976 und 11.9.1973) 0,150 Kubikmeter pro Sekunde (DGJ 2006a). An den klei-

neren Burgwaldbächen im Nördlichen Burgwald existieren keine Pegel, es wurden jedoch Trockenwetterabflüsse im Rahmen der hydrogeologischen Kennzeichnung zu den Erläuterungen der Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt Wetter (Hessen) gemessen (4.9. bis 8.9.1978). Die Wetschaft hat im Oberlauf einen Abfluss von  $Q = 0,9$  Liter pro Sekunde, was einen charakteristischen Wert für andere Oberlaufbereiche der Buntsandsteinhochfläche darstellt (HÖLTING 1985). Bezogen auf eine Einzugsgebietsfläche ( $F_E$ ) von  $1,81 \text{ km}^2$  ist der Abflussquotient mit  $0,5 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  gekennzeichnet (HÖLTING 1985). Die Bäche werden der Abflussklasse 1 mit einem MNQ von kleiner als  $0,1$  Kubikmeter pro Sekunde zugeordnet (WRRL-VIEWER).

Die Grundwasserneubildung wird im Nördlichen Burgwald als gering ( $50\text{--}100 \text{ mm/a}$ ) bis mäßig ( $100\text{--}150 \text{ mm/a}$ ) und die Grundwasserergiebigkeit als überwiegend mittel ( $5,1\text{--}15 \text{ l/s}$ ) eingestuft (RP GIEßEN 1998, HOPPE & MITTELBACH 1999). Der Burgwald ist Bestandteil der hydrogeologischen Teileinheit 1.1.5 *Buntsandstein der Frankfurter Bucht*, die zur Hydrogeologische Einheit 1.1 *Trias westlich der Niederhessischen Senke* gehört, deren Kluftgrundwasserleiter die wichtigsten Aquifere zur Trinkwassergewinnung in Hessen darstellen (SCHRAFT ET AL. 2002, HOPPE & MITTELBACH 1999). Das Grundwasserdargebot im Untersuchungsgebiet Nördlicher Burgwald wird aus naturschutzrechtlichen Gründen nicht genutzt (SCHRAFT ET AL. 2002). Die Quellschüttung ist bei Trockenwetterabfluss (August/September) mit  $< 0,2$  Liter pro Sekunde meist sehr gering, der pH-Wert des Grund- und Quellwasser ist mit einem Mittelwert von pH 5,9 (mittlere Buntsandstein) als sauer sowie die Gesamthärte als weich bis sehr weich einzustufen (HÖLTING 1985). Das Grundwasser kann als Erdalkali-Hydrogencarbonat-Typ charakterisiert werden (HÖLTING 1985).

### 2.2.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung

Eine Vor-Neolithische Besiedlung im Nördlichen Burgwald kann nicht nachgewiesen werden, ist aber aufgrund altsteinzeitlicher Funde im Bereich der benachbarten Lahnberge anzunehmen (PLETSCH 1991). Einige Ausgrabungsergebnisse deuten auf eine jungsteinzeitliche Besiedlung im Untersuchungsgebiet mit Hutennutzung als Waldbeweidung (BOUCSEIN 1955). Siedlungen der Bronzezeit lassen sich nicht direkt im Untersuchungsgebiet nachweisen (BOUCSEIN 1955), doch deuten Ortsnamen wie Roda oder Mellnau auf eine Siedlungsphase zwischen dem 4. vorchristlichen und 4. nachchristlichen Jahrhundert (PLETSCH 1991). Die Wetschaftsenke dürfte ab dem Frühmittelalter (7.-9. Jahrhundert) der fränkischen Siedlungsphase zuzuordnen sein (PLETSCH 1991). Es kam zu Rodungen auf der Burgwaldhochfläche, die keinen langen Bestand hatten, so dass im Spätmittelalter wiederum eine nahezu geschlossene Walddecke anzunehmen ist (BORN 1966). Die Hochfläche des Buntsandstein schien während des Mittelalters keine bevorzugte Siedlungslage zu sein. Dafür mag das Fehlen von Ortswüstungen aus dieser Zeit sprechen. EISEL (1965) kennzeichnet im Untersuchungsgebiet nur eine mittelalterliche Wüstung am Christenberg. Mit der Verhüttung in Frankenberg und in Rosenthal sowie im 17. Jahrhundert durch die Gründungen von Hugenottensiedlungen (Schwabendorf, Todenhausen, Wolfskaute und Hertingshausen) kam es erneut zu Rodungen im Nördlichen Burgwald mit weitflächigen Kahlschlägen sowie durch Streunutzung zur Entnahme von Biomasse (PLETSCH 1991, BORN 1966). Letzteres führte zu einer ausbleibenden Waldverjüngung durch Bodendegradation, so dass mit der Anpflanzung von Kiefern aus dem ehemaligen Laubwaldgebiet ein Mischwald wurde, dessen Nadelholzanteil Mitte des 20. Jahrhunderts ca. 80 Prozent ausmachte (BORN 1966). Heute ist der Nördliche Burgwald ein landschaftsplanerisch ausgewiesenes Maßnahmengebiet, in dem der Laubholzanteil erhöht werden soll (RP GIEßEN 1998).



## 2.3 Krofdorf-Königsberger Forst (Krofdorfer Forst)



Abb. K2-4: Lage der Quellen im Krofdorfer Forst (Kartengrundlage: Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung Blatt L5316 Gladenbach und L5318 Amöneburg). Maßstab 1:25.000. Eigene Darstellung (mit QGIS). Legende siehe Anhang

### 2.3.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung

Der Naturraum Krofdorf-Königsberger Forst (320.05) gehört zur Haupteinheit Gladenbacher Bergland (320), die das östliche Drittel der Haupteinheitengruppe Westerwald (32) des nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirges bildet (KLAUSING 1988). Der Krofdorfer Forst (ca. 40 km<sup>2</sup>) ist der nordöstliche Teil dieses Naturraumes, der im Bereich des Dünsberg mit westlichem Verlauf in den Königsberger Forst übergeht. Der Krofdorfer Forst ist neben der weiter nördlich gelegenen Einhausen-Michelbacher Senke (320.11) der östlichste Ausläufer der auch als Lahn-Dill-Bergland (SANDNER 1960) bezeichneten Haupteinheit 320, die hier unmittelbar an das Marburg-Gießener Lahntal und somit an das Westhessische Berg- und Senkenland grenzt. Im Nordwesten schließt der Naturraum Hörre (320.04) an. Im Norden grenzen die dem Gladenbacher Bergland zugeordneten Naturräume Niederweidbacher Becken (320.13) und im Nordosten das Salzbödetal (320.12) an den Krofdorfer Forst (KLAUSING 1988). Der Krofdorfer-Königsberger Forst nimmt eine Flächengröße von 122 km<sup>2</sup> ein, was einen Flächenanteil von 15,7 Prozent am Naturraum Gladenbacher Bergland ausmacht (KLAUSING 1988).

### 2.3.2 Geologischer Untergrund und Relief

Der geologische Untergrund im Krofdorfer Forst wird durch einen großflächig homogenen Bau aus 200 m bis 500 m mächtigen Kulm-Grauwackeschiefern aus dem Unterkarbon bestimmt (GK 25 5317). Im zentralen Bereich, durch die Kreisstraße gequert, befinden sich Kiesel-schiefer- und Lydit-Schichten aus dem Unterkarbon, die im Tagebau offenflächennah abgebaut wurden und heute kleine Stillgewässer (Tümpel) in der Landschaft zurück gelassen haben (GK 25 5317). Im nordwestlichen Abdachungsbereich zum Verstal gibt es ein Vorkommen des Wissenbacher Schiefers, d.h. kalkige Tonschiefer aus dem Unteren Mitteldevon (GK 25 5317). Ebenfalls aufgeschlossen sind fossilienführende, glimmerreiche Grauwacken und Schiefer (Unterkoblenz) aus dem Unterdevon. Quartäre Ablagerungen sind in Form von Löss und Lösslehm in einigen Unterhangbereichen von Bachtälern zu finden (GK 25 5317). Bachauenbereiche, wie der Mittel- und Unterlauf des Wissmar Baches sind durch alluviale Talböden gekennzeichnet (GK 25 5317).

SANDNER (1960) beschreibt das Relief des Untersuchungsgebiets als flachkuppiges Bergland, das wegen der morphologisch widerstandsfähigen Grauwacken als Hochfläche nur geringfügig durch tief eingeschnittene Täler gegliedert wird (LEIB & UHLIG 1982).

### 2.3.3 Böden

Die Hochflächen und Oberhangbereiche im Untersuchungsgebiet Krofdorfer Forst werden von Braunerden aus 2 bis 6 dm Fließerde (Hauptlage) über Flieβschutt (Basislage) mit schwach metamorph überprägtem siliziklastischem Sedimentgestein dominiert (BK 50 L 5316, BK 50 L 5318). Daneben kommen auf einigen Bergkuppen Braunerden mit Regosolen und Rankern aus 1 bis 3 dm Fließerde (Hauptlage) über Flieβschutt (Basislage) mit schwach metamorph überprägtem siliziklastischem Sedimentgestein vor (BK 50 L 5316, BK 50 L 5318). Die Mittelhang- und Unterhanglagen der Taleinschnitte sind meist durch Pseudogley-Parabraunerden mit Parabraunerden aus Löss (Pleistozän) gekennzeichnet (BK 50 L 5316, BK 50 L 5318). Parabraunerden sind auch der dominierende Bodentyp der forsthydrologischen Testgebiete der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, die sich im Untersuchungsgebiet befinden (FÜHRER 1990). In den Tälern sind überwiegend Gleye mit Gley-Kolluvisolen sowie Hanggleyen und Pseudogleyen aus fluviatilen, kolluvialen und/oder solifluidalen Sedimenten (Holozän oder Pleistozän) mit schwach metamorph überprägtem siliziklastischem Sedimentgestein sowie Metamorphiten vorzufinden (BK 50 L 5316, BK 50 L 5318). Nur sehr wenige Bachunterläufe sind durch Auengleye mit Gleyen aus >10 dm Auenschluff, -lehm und/oder -ton, örtlich mit Kolluvialschluff (Holozän) charakterisiert (BK 50 L 5316, BK 50 L 5318).

### 2.3.4 Klimatische Kennzeichnung

Das Untersuchungsgebiet wird in ein mäßig bis schwach subkontinentales Großklima eingeordnet (FÜHRER 1990). Der Krofdorfer Forst liegt im Leebereich des Rheinischen Schiefergebirges und zentral in einem Übergangsbereich zwischen maritimer und kontinentaler Klimazone, gemessen an der Kontinentalität (mittlere Jahreschwankung der Temperatur) (DWD 2003). Die mittlere Tagesmitteltemperatur der Luft liegt zwischen 8°C und 9°C (HLUG 2001). Die mittlere Niederschlagshöhe im Bemessungszeitraum 1901 bis 2000 liegt zwischen 600 mm und 700 mm (HLUG



2001). Die Stationsmessungen der forsthydrologischen Forschungseinrichtung geben für den Zeitraum von 1972 bis 2004 einen mittleren Jahresniederschlag von 700 mm an (SCHELER ET AL. 2005). Die mittlere Wasserbilanz (1971-2000) ist überwiegend mit 1 mm bis 100 mm gekennzeichnet, wobei im Sommer (Juli) eine negative Wasserbilanz von bis zu –40 mm erreicht wird (HLUG 2001). Das großflächig zusammenhängende Waldgebiet des Krofdorfer Forstes ist ein bedeutendes Frischluftentstehungsgebiet mit geringen Temperaturamplituden (RP GIEßEN 1998).

### 2.3.5 Vegetation

Die potentiell natürliche Vegetation im Untersuchungsgebiet Krofdorfer Forst ist ein typischer bodensaurer, artenarmer Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum typicum*) (BOHN 1996). Lediglich breitere Bachunterläufe sind als Hainsimsen-Stieleichen-Hainbuchen-Auenwald (*Stellario-Carpinetum*, *Luzula*-Ausbildung) einschließlich bachbegleitender Erlenwälder (meist *Stellario-Alnetum*) gekennzeichnet (BOHN 1996).

Die reale Vegetation besteht überwiegend aus forstwirtschaftlich genutzten Rotbuchenwäldern (*Fagus sylvatica*), denen Eiche (*Quercus*) und Fichte (*Picea*) beige-mischt sind sowie partiell reine Fichtenforste (RP GIEßEN 1998, FÜHRER 1990). Der Krofdorfer Forst gehört zur Wuchsraum-Einheit der Unteren Buchen-Mischwaldzone in der kollinen Stufe und geht in den höheren Lagen in die Obere Buchen-Mischwaldzone über (KNAPP & ASTHALTER 1975). Die naturnahen, unzerschnittenen Laubwaldkomplexe mit einem Nadelbaumanteil von bis zu 30 Prozent sowie einem besonderen Buchen-Altholzbestand (125 bis 140 Jahren) sind auf einer Fläche von fast 810 ha als FFH-Gebiet vorgeschlagen (JEDICKE 1996, FÜHRER 1990). Daneben existieren kleinflächige Biotopkomplexe wie Grünland, Feuchtgrünland und Stillgewässer (RP GIEßEN 1998).

### 2.3.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung

Das Untersuchungsgebiet Krofdorfer Forst gehört vollständig zum Lahn-Einzugsgebiet und somit zum Rheinsystem (HLUG 2006). Das Gebiet wird in unterschiedliche Teileinzugsgebiete gegliedert, wobei die Entwässerung über die Einzugsgebiete der Mittelgebirgsbäche Salzböde mit Krumbach und Vers, Wissmar-Bach, Gleibach, Fohnbach und Bieber rechtsseitig tributär zur Lahn sind (HLUG 2006). Der Bäche im Krofdorfer Forst sind dem Fließgewässertyp 5 Silikatische Mittelgebirgsbäche zugeordnet (WRRL-VIEWER, POTTGIESSER & SOMMERHÄUSER 2006). Der ökologische Zustand der Bäche bzw. Wasserkörper im Krofdorfer Forst wird insgesamt mit unbefriedigend (Güteklasse 4) bis schlecht (Güteklasse 5) beschrieben, was durch die biologischen Qualitätskomponenten und zahlreichen unpassierbaren Wanderhindernissen, vor allem in den Unterläufen zu erklären ist (WRRL-VIEWER). Teilweise sind die Oberläufe bzw. Quelleinzugsgebiete in einem weitgehend naturnahen bzw. sehr guten (Güteklasse 1) hydromorphologischen Zustand (WRRL-VIEWER). Die meisten Fließgewässer werden der Abflussklasse 1 zugeordnet, sind also durch einen MNQ von  $< 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  gekennzeichnet (WRRL-VIEWER). Eine Auswertung der Abflussdaten (Jahresmittel) ergibt für die extensiv<sup>1</sup> forstwirtschaftlich genutzten forsthydrologischen Forschungsgebiete B1 mit 13,6 ha einen Abfluss Q von 0,82 l/s sowie für das B2-Gebiet mit 10,5 ha einen Abfluss Q mit 0,8 l/s für den Zeitraum 1972-2005 (Daten RP Gießen, vgl. FÜHRER 1990).

<sup>1</sup> Es werden nur notwendige Einzelstammentnahmen vorgenommen (z.B. zur Wegsicherheit), allerdings findet keine Ertragswirtschaft mehr statt.

Die Kluftgrundwasserleiter im Krofdorfer Forst sind der hydrogeologischen Einheit 3 Rheinisches Schiefergebirge zugeordnet, wobei die Grundwasserergiebigkeit mit 0-2 Liter pro Sekunde gering ist (HOPPE & MITTELBACH 1999). Die Grundwasserneubildung variiert im Untersuchungsgebiet zwischen sehr gering (weniger als 50 mm pro Jahr) und mäßig (100 bis 150 mm pro Jahr), wobei Flächen mit geringer Grundwasserneubildung (50 bis 100 mm pro Jahr) überwiegen (RP GIEßEN 1998).

### **2.3.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung**

Im Untersuchungsraum Krofdorfer Forst gibt es keine rezenten Siedlungen, doch ist und war das Gebiet nicht frei von menschlicher Inanspruchnahme. Neolithische Siedlungsspuren sind nicht nachweisbar, doch die Randlage zum jungsteinzeitlichen Siedlungsraum sowie Funde von Waffen lassen auf ein Jagdrevier schließen (LEIB 1974). Keltische Kulturfunde der Eisenzeit werden diskutiert, sind aber nicht eindeutig zu rekonstruieren, obwohl der Krofdorfer Forst unmittelbar am Oppidum des Dünsberg gelegen und in Krofdorf eine spälatènezeitliche Siedlung nachgewiesen ist (REEH 2008, NICKEL 2007). Siedlungsgründungen und eine intensive Landnutzung erfolgten mit der fränkischen Landnahme zu karolingischer Zeit (LEIB 1974). Siedlungen und Einzelhöfe sowie gewerbliche Kleinbetriebe dürften zu Rodungen geschlossener Waldflächen geführt haben, die aber nicht von langer Dauer waren (LEIB & UHLIG 1982). Der zentrale Bereich im Krofdorfer Forst war Besitz der Burg Gleiberg, die Forstwirtschaft und Jagd betrieben. Erhebliche Eingriffe erfolgten mit der Umwandlung von Hoch- in Niederwaldwirtschaft, der Holzkohleherstellung sowie der Eisen-erzverhüttung im 18. und 19. Jahrhundert (NICKEL 2007, LEIB & UHLIG 1982). Mitte des 19. Jahrhunderts setzte mit der preußischen Landesforstverwaltung eine nachhaltige Forstwirtschaft ein (LEIB & UHLIG 1982). Die Sicherung der großräumig zusammenhängenden, weitestgehend unzerschnittenen (lediglich eine Kreisstrasse quert das Gebiet) Waldfläche als Biotopverbundraum ist Ziel der Landschaftsplanung (RP GIEßEN 1998).

## 2.4 Hoher Vogelsberg (Niddahänge)

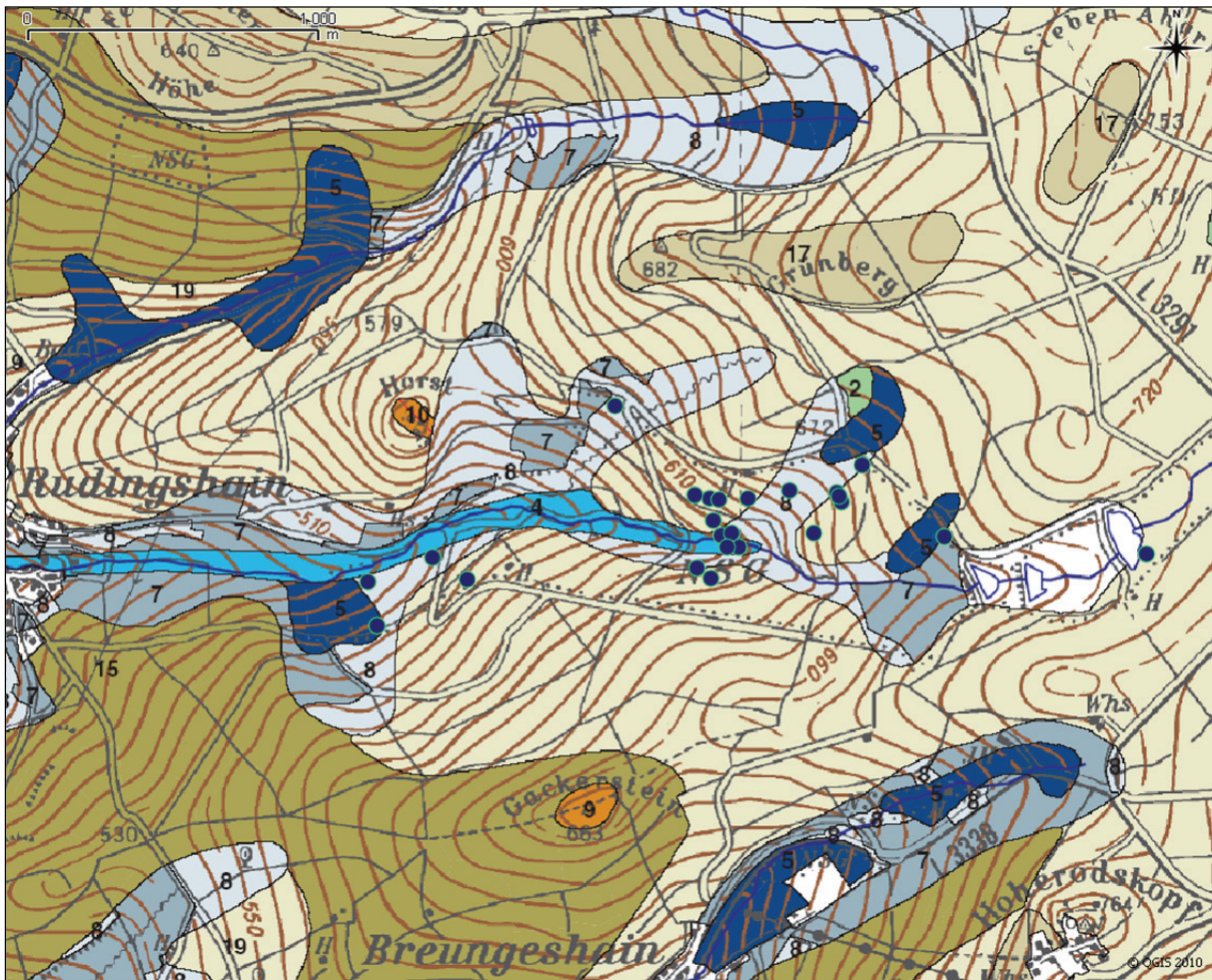


Abb. K2-5: Lage der Quellen im Vogelsberg (Niddahänge) (Kartengrundlage: Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung Blatt L5520 Schotten). Maßstab 1:15.000. Eigene Darstellung (mit QGIS). Legende siehe Anhang

### 2.4.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung

Das Areal des Untersuchungsgebiets Niddahänge ist identisch mit dem Naturwaldreservat „Niddahänge östlich Rudingshain“ (NW-FVA 2009) und liegt in der naturräumlichen Haupteinheit Hoher Vogelsberg (mit Oberwald) (351), welche zur Haupteinheitengruppe Osthessisches Bergland (35) gehört (KLAUSING 1988). Das Untersuchungsgebiet liegt komplett in der naturräumlichen Untereinheit Oberwald (351.2), grenzt aber unmittelbar am westlichen Rand an die naturräumliche Untereinheit Westlicher Hoher Vogelsberg (351.0). Der Oberwald hat eine Flächengröße von 37 km<sup>2</sup> (entspricht 11,3 Prozent Flächenanteil am gesamten Hohen Vogelsberg), wobei das Naturwaldreservat „Niddahänge östlich Rudingshain“ ein Areal von 0,74 km<sup>2</sup> einnimmt (HOCKE 1996, KLAUSING 1988).

### 2.4.2 Geologischer Untergrund und Relief

Der Vogelsberg ist eines der größten Basaltgebiete in Europa, jedoch kein zentral aufgebauter Vulkankomplex (ROTHE 2006, HOPPE & SCHULZ 2001). Das Gebiet ist durch breitflächige Deckenergüsse aus mehreren Schloten aufgebaut und nicht alle Vulkangesteine sind Basalte, allerdings ausnahmslos miozänen Alters (KÖTT, NES-



BOR & EHRENBURG 2001, WIEGAND 1977). Der Oberwald ist mit seinem plateauartigen Aufbau die höchste Erhebung im Vogelsberg (Taufstein 773 mNN). Im Oberwald ist eine Mächtigkeit der vulkanischen Gesteine mit 656,5 Metern Endteufe nachweisbar (KÖTT, NESBOR & EHRENBURG 2001). Die Trennlinien der Tiefenschollen verlaufen erzgebirgisch in südwestlich-nordöstlicher Richtung, d.h. die Bruchtektonik der Basaltbasis zeigt keine Fortsetzung der Bruchtektonik des Oberrheingrabens (EHRENBURG & HICKETHIER 1985). Das Untersuchungsgebiet Naturwaldreservat „Niddahänge östlich Rudingshain“ wird fast ausschließlich durch basaltischen Abhangschutt mit Lössenlagerungen aufgebaut, der genetisch als posttertiäre Gesteinszertrümmerung interpretiert wird (GK 25 5421, SCHÖTTLER 1931). Lediglich der östlichste Bereich des Naturwaldreservats oberhalb der Teichanlagen mit der Flurbezeichnung „Kalteborn“, besteht aus entkalktem Löss, der große Flächen im Oberhangbereich der Oberwaldwestabdachung einnimmt und die Basalte überdeckt (GK 25 5421). Die Talgründe der Nidda sind alluviale, holozäne Anschwemmungen (GK 25 5421). Im Hainerwald nördlich der Nidda stehen vereinzelt Nephelinbasanite an (GK 25 5421).

Das Relief im Untersuchungsgebiet wird durch den meist steilen Abfall der Oberwaldwestabdachung geprägt. Das Höhenniveau liegt zwischen 500 mNN und 700 mNN (TK 25 5421). Charakteristisch im Längsprofil sind lokale Verebnungsflächen, wobei die flach konvex verlaufenden Unterhangbereiche in Abdachungsstufen bzw. Fußflächen, sog. Piemontflächen übergehen und somit das Längsprofil der Westabdachung insgesamt treppenartig untergliedern (SCHULZE 1959, SCHULZE 1961).

### 2.4.3 Böden

Der überwiegende Bereich des Naturwaldreservats südlich der Nidda sind Lockerbraunerden über Parabraunerde aus 3 bis 8 dm Bimsascheffließerde (Hauptlage) über 2 bis 6 dm Fließerde (Mittellage) über Fließschutt (Basislage) mit basaltischem Vulkanit, örtlich Vulkaniklastit oder Zersatz (Tertiär) (BK 50 L 5520). SEMMEL (1998) sieht die Lockerbraunerden im Oberwald als holozäne, anthropogene Kolluvien, die ein Ergebnis menschlich induzierter Bodenerosion sind. Im Bereich nördlich der Nidda kommen ebenfalls Lockerbraunerden vor, doch haben Hangpseudogleye und Pseudogleye mit Pseudogley-Gleyen und Pseudogley-Kolluvisolen und Gley-Kolluvisolen aus 6 bis 8 dm Fließerde (Hauptlage), meist über 2 bis 8 dm Fließerde (Mittellage) über Fließschutt (Basislage) mit basaltischem Vulkanit (Tertiär) einen ähnlichen Flächenanteil (BK 50 L 5520). Daneben kommen im Bereich nördlich und südlich der Nidda vereinzelt Quellengleye und Hanggleye mit Hangpseudogleyen aus fluvialen, kolluvialen und/oder solifluidalen Sedimenten (Holozän oder Pleistozän) mit basaltischem Vulkanit, örtlich Vulkaniklastit, z.T. Zersatz (Tertiär) vor (BK 50 L 5520). Der Bereich der Teichanlagen mit der Flurbezeichnung „Kalteborn“ ist durch anthropogene Überprägung gekennzeichnet, der nordöstlich anschließende Bereich besteht aus humusreichen Lockerbraunerden und Lockerbraunerden über Parabraunerde aus 6 bis 8 dm Bimsascheffließerde (Hauptlage) über 2 bis 6 dm Fließerde (Mittellage) über Zersatz aus basaltischem Vulkanit, örtlich Vulkaniklastit (Tertiär) (BK 50 L 5520). Aufgrund des steilen Abfalls der Westabdachung sind nur im untersten Talverlauf der Nidda im Untersuchungsgebiet Auengleye mit Gleyen und Pseudogley-Gleyen aus 6 bis 10, z.T. >10 dm Auenschluff und/oder -ton, z.T. aus anderen fluvialen Sedimenten (Holozän) über Terrassensand (Pleistozän) ausgebildet (BK 50 L 5520).

Die Bodenbildung hat sich im Wesentlichen aus Schuttdecken entwickelt und weniger aus anstehendem Festgestein (LEBMAN 1997, SEMMEL 1991). Die Lockerbraunerden im Oberwald sind extrem sauer, basenarm, besitzen ein stabiles Gefüge und

eine hohe Feldkapazität (LEBMANN 1997, HOCKE 1996), sind als naturhistorisch bedeutsame Böden eingestuft sowie von besonderer Bedeutung für den Bodenschutz (RP GIEßEN 1998).

#### 2.4.4 Klimatische Kennzeichnung

Der Vogelsberg wird ebenfalls in eine großräumige klimatische Übergangszone zwischen ozeanisch und kontinental geprägten Klimaten eingeordnet (DWD 2003), doch nimmt der Gebirgsraum wegen der exponierten Höhenlage eine gewisse Sonderstellung ein. Vor allem die deutlich höhere mittlere Niederschlagsmenge, die im Oberwald zwischen 1200 mm und 1300 mm (Jahre 1901-2000) beträgt, weicht von den Werten der umgebenen Beckenlagen erheblich ab (HLUG 2001). Die Niederschläge fallen im Winter hauptsächlich als Schnee (Hauptmaximum) und etwas abgeschwächt im Sommer als Regen (Nebenmaximum), wobei der Vogelsberg zu den niederschlagsreichsten Gebieten in Hessen zählt (HLUG 2001). Die Schneedeckendauer ist mit durchschnittlich über 120 Tage lang (KLAUSING 1988). Auch die Temperaturverhältnisse sind im Oberwald mit einer mittleren Tagesmitteltemperatur zwischen 5°C und 6°C niedriger als im Vergleich zum Umland des Hohen Vogelsbergs (HLUG 2001). Die Vegetationszeit ist mit 130 bis 140 Tagen kurz (HOCKE 1996). Das Klima kann als kühl-feuchtes Mittelgebirgsklima charakterisiert werden. Der Oberwald wie der gesamte Hohen Vogelsberg zeichnet sich durch hohe Windstärken (bis zu 5 m/s) aus (HLUG 2001), allerdings ist das Untersuchungsgebiet als Abschlussfläche für Windkraftanlage ausgewiesen (RP GIEßEN 1998).

#### 2.4.5 Vegetation

Die potentiell natürliche Vegetation im Untersuchungsgebiet ist ein Flattergras-Hainsimsen-Buchenwald oberhalb 500 m (*Luzulo-Fagetum*, *Milium*-Variante) (BOHN 1996). Bestandsbildend ist die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) sowie vereinzelt eingemischt die Esche (*Fraxinus excelsior*) und der Spitzahorn (*Acer platanoides*). Als wesentliche Kennarten der Krautschicht sind die Hainsimse (*Luzula albida*), die Draht-Schmiele (*Deschampsia flexuosa*) und bei der Flattergras-Variante *Milium effusum*, das Waldfluttergras zu nennen (BOHN 1996). Die tieferen Lagen im Untersuchungsgebiet unterhalb 600 mNN sind als typischer Zahnwurz-Buchenwald (*Dentario-Fagetum typicum*), örtlich mit Hainsimsen-Zahnwurz-Buchenwald (*Dentario-Fagetum luzuletosum*) gekennzeichnet (BOHN 1996). Im östlichen, obersten Niddatalabschnitt im Naturwaldreservat ist die potentiell natürliche Vegetation ein krautreicher Erlensumpfwald der Hochlagen (*Crepis paludosa*-*Alnus glutinosa*-Gesellschaft), örtlich mit Hainmieren-Erlenwald (*Stellario-Alnetum*), feuchtem Bergahorn-Eschenwald (*Aceri-Fraxinetum*) und Schachtelhalm-Karpatenbirkenwald (*Equiseto-Betuletum carpaticae*) (BOHN 1996).

Die reale Vegetation wird im Naturwaldreservat von der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) dominiert, wobei auch andere Baumarten wie Esche (*Fraxinus excelsior*) und Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*) sowie Erlen (*Alnus glutinosa*), Fichte (*Picea abies*) und wenige Douglasien (*Pseudotsuga menziesii*) vertreten sind (HOCKE 1996). Die ehemaligen Wirtschaftswälder zeigen eine zum Teil hohe Altersstruktur, wobei Buchen mit einem Alter über 200 Jahren vorkommen (NW-FVA 2009). Neben Waldflächen sind im Bereich „Kalteborn“ Stillgewässer (ehemalige Fischteiche) und extensive Grünlandflächen zu nennen, die als Naturschutzgebiet Oberes Niddatal / Forellenteiche (NSG Nr. 535036) unter Schutz gestellt sind (HLUG 2001). Außerdem ist das



Areal des Naturwaldreservats Bestandteil des FFH-Gebiets Vogelsberg (Gebiets-Nr. 5421-302).

#### 2.4.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung

Das Untersuchungsgebiet liegt im Oberlaufbereich der Nidda. Obwohl der eigentliche Quellbereich der Nidda außerhalb des Naturwaldreservats liegt, können alle Quellgewässer im Untersuchungsgebiet jedoch unmittelbar dem Einzugsgebiet der Nidda zugeordnet werden (HLUG 2006). Allgemein charakteristisch für den gesamten Oberwald ist das radial angeordnete Gewässernetz, wobei die Nidda als Teil des Rheinsystems zunächst dem Main tributär ist. Parallel zum Höhenzug des Oberwaldes verläuft in südost-nordwestlicher Richtung die Hauptwasserscheide zwischen Rhein- und Wesereinzugsgebiet (HLUG 2006). Die Nidda ist im Untersuchungsgebiet dem Fließgewässertyp 5 Silikatische Mittelgebirgsbäche zugeordnet (WRRL-VIEWER, POTTGIESSER & SOMMERHÄUSER 2006). In älteren Kartenwerken, wie der Geologischen Karte 1:25.000 von 1931 (GK 25 5421) findet man die Bezeichnung „Hundsbornbach“, die dem Gewässerabschnitt von der Quelle bis oberhalb der Mündung des Graswiesenbaches bei Rudingshain im Gewässerkundlichen Flächenverzeichnis von Hessen zugeordnet ist (HLUG 2006). Die Einzugsgebietsgröße ist für diesen Abschnitt mit 6,38 km<sup>2</sup> angegeben (HLUG 2006), womit das Untersuchungsgebiet einen Flächenanteil von 11,6 Prozent hat. Die Nidda ist hier der Abflussklasse 1 mit einem MNQ < 0,1 m<sup>3</sup>/s zugeordnet (WRRL-VIEWER). Ein amtlicher Pegel ist im Untersuchungsgebiet nicht zu verzeichnen, allerdings wurden Daten aus einer Modellrechnung (BRAHMER & ALTHOFF 2003) für das Gebiet errechnet. Demnach beträgt der MQ 0,43 m<sup>3</sup>/s, bezogen auf den Wasserkörper Nidda/Vogelsberg (DEHE\_248.6) bei einer Lauflänge von 11,9 km und einem Einzugsgebiet von 26,8 km<sup>2</sup> (WRRL-VIEWER). Abflussmaxima werden zur Schneeschmelze meist im März erreicht (DGJ 2006b). Der hydrogeologische Teilraum Vogelsberg, in dem das Untersuchungsgebiet liegt, ist Teil der hydrogeologischen Großeinheit 03 Oberrheingraben mit Mainzer Becken und nordhessischem Tertiär (WRRL-VIEWER). Die Kluftgrundwasserleiter im Oberwald sind schwebende Grundwasserleiter (Oberwaldzone), die als leicht basische (pH > 8), sehr weiches bis hartes Erdalkali-Hydrogencarbonatwasser gekennzeichnet sind (LEßMANN 2001). Das Grundwasser der von Löss überdeckten Basalte zeigen hohe Härtegrade von 18 bis 30 °dH (LEßMANN 2001). Die Oberwaldzone ist durch zahlreiche Grundwasseraustritte gekennzeichnet, wobei die Quellen das ganze Jahr schütten, jedoch jahreszeitlich erhebliche Schwankungen aufweisen (NQ = 0,1 l/s / HQ = 9,3 l/s). Das Hauptmaximum ist im Winter zu verzeichnen (LEßMANN, WIEGAND & SCHARPFF 2001). Aufgrund konstanter Basisabflüsse fallen die Fließgewässer im Oberwald nicht trocken, wie beispielsweise in Bereich Westlicher und Östlicher Hohen Vogelsberg (LEßMANN, WIEGAND & SCHARPFF 2001). Grundwasserentnahmen zur Trinkwassergewinnung finden im Untersuchungsgebiet nicht statt.

#### 2.4.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung

Die naturgeographischen Voraussetzungen zur Besiedlung und Kulturnahme des Oberwaldes im Hohen Vogelsberg sind ungünstig, was sich noch heute daran zeigt, dass der Oberwald keine rezenten Siedlungen oder landwirtschaftlichen Flächen und Höfe aufweist. Erste Siedlungsspuren im Vogelsberg datieren aus der Stein- und Bronzezeit, wobei die nahe gelegene Wetterau bevorzugte Ökumene dieser Zeiten war (MORAW 1999). Erst die Besiedlung des Westlichen Hohen Vogelsberg zwischen dem 11. und 15. Jahrhundert, die sich mit Ortsnamenendungen, z.B. *-hain*, wie in Ru-

dingshain belegen lässt, hatte durch intensive Rodungstätigkeiten erhebliche Auswirkungen auf die Landnutzung im Untersuchungsgebiet (SCHULZE 1982). Zwar kam es im Hochmittelalter zu zahlreichen Wüstungen, doch haben die durch Köhlerei und Waldweide devastierten Hochlagen des Vogelsbergs mit der unmittelbaren Nähe zu den Siedlungsbereichen der Dörfer Rudingshain und Breungeshain die Nutzung des heutigen Naturwaldreservates, zum Beispiel durch Anlegen von Fischteichen, im Oberlauf der Nidda, bis in das 19. Jahrhundert hinein beeinflusst (NW-FVA 2009). Von der anschließenden Aufforstungsphase mit Fichten im 19. Jahrhundert ist das Untersuchungsgebiet nicht so intensiv betroffen, wie die östlich gelegenen Hochflächen des Oberwaldes (TEGELER 1994, OBST 1960). Das Untersuchungsgebiet war die letzten 250 Jahre bewaldet, ältere Buchenaltholzbestände sind auf das Unterbleiben der Waldweide in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch natürliche Verjüngung zurückzuführen (NW-FVA 2009). Das Gebiet wird heute besonders zu Naherholungszwecken genutzt.

## 2.5 Rhön (Schafstein)



Abb. K2-6: Lage der Quellen in der Rhön (Schafstein) (Kartengrundlage: Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung Blatt L5524 Fulda). Maßstab 1:10.000. Eigene Darstellung (mit QGIS). Legende siehe Anhang

### 2.5.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung

Das Untersuchungsgebiet Schafstein liegt im Naturraum Wasserkuppenrhön (354.10), der Bestandteil der naturräumlichen Untereinheit Hochrhön (354.1) ist und

damit der naturräumlichen Haupteinheit Hohe Rhön (354) zugeordnet (KLAUSING 1988). Die Wasserkuppenrhön hat eine Flächengröße von fast 40 km<sup>2</sup>, was einen Flächenanteil von 11,6 Prozent an der Hohen Rhön ausmacht (KLAUSING 1988, RÖLL 1969, SCHWENZER 1968). Das Untersuchungsgebiet ist das Naturschutzgebiet Schafstein bei Wüstensachsen (Gebietsnr. 1631001) mit einer Fläche von 123 Hektar (1,23 km<sup>2</sup>).

### 2.5.2 Geologischer Untergrund und Relief

Der Schafstein ist die größte Blockakkumulation aus Basaltblöcken in der Rhön mit einer Mächtigkeit von über 30 Metern und als national bedeutsames Geotop erfasst (OPP 2005b, DÄUBLE 2004). Das Gebiet liegt in einem Höhenniveau zwischen 730 mNN und 831,8 mNN (TK 25 5425). Das Bergmassiv selbst ist aus Alkaliolivinbasalten und Olivinbasalten aufgebaut (EHRENBERG & HICKETHIER 2002, GK 25 5425). Eingeraht wird der Schafstein von pleistozänen Fließerden, die meist aus Lösslehm, mit wechselnden Anteilen von vorherrschend basaltischem Gesteinsschutt bestehen (EHRENBERG & HICKETHIER 2002). Der nordwestlich am Fuß der Blockakkumulation anschließende Schafsteiner Brunnen ist ein holozänes Anmoor bzw. Quellenmoor, dem wiederum pleistozäne Rutschmassen aus Schollen und Blöcken basaltischer Gesteine im Nordwesten folgen (EHRENBERG & HICKETHIER 2002, GK 25 5425). Nördlich der Bergkuppe des Schafsteins liegt ein kleines Areal, das aus alkalibasaltischen Pyroklasten besteht, die vorwiegend Fallablagerungen (Aschen- und Lapillituffe) darstellen (EHRENBERG & HICKETHIER 2002).

Das Relief, die Struktur und der Aufbau der Blockakkumulation sind durch DÄUBLE (2004) detailliert beschrieben und größtenteils als fossiler Blockgletscher interpretierbar. Die Oberfläche der Blockakkumulation ist durch Wall- und Depressionsstrukturen geprägt, in der Aufsicht zeigt sich am Nordwesthang eine zungenförmige Erstreckung. Das Längsprofil gliedert sich in einen konvexen Unterhang und in einen konkav verlaufenden Mittelhang. Der Oberhang steigt mit einem schroffen Gefälle an und läuft in einem flachen Bergkegel aus. Das den Schafstein umgebene Gebiet ist meist plateauartig eingeebnet und fällt in Richtung Nordnordost sanft ab. Dagegen ist die Neigung der östlichen und südöstlichen Abdachung des Schafsteins deutlich schroffer. Eine Gliederung durch eingeschnittene Täler liegt nicht vor. In der Gesamtschau ist der Schafstein ein für die Wasserkuppenrhön typischer Einzelberg, aufgelöst in einem plateauartigen Komplex (RÖLL 1969).

### 2.5.3 Böden

Bodentypen des Schafstein, mit Ausnahme der Blockakkumulation, sind meist Braunerden mit Regosolen und Rankern aus 1 bis 3 dm Fließerde (Hauptlage) über Fließschutt (Basislage) mit basaltischem Vulkanit, örtlich Vulkaniklastit (Tertiär) oder Anstehendem (BK 50 L 5524). Im Norden und Osten des Schafsteins befinden sich kleinere Flächen mit Felshumusböden und Braunerden mit Rankern aus gravitativen oder solifluidalen Sedimenten (Holozän oder Pleistozän) mit Vulkanit (Tertiär) oder Anstehendem (BK 50 L 5524). Das den Schafstein umgebene Plateau wird hauptsächlich durch Braunerden über Fersiallit mit Pseudogley-Braunerden aus 2 bis 6 dm Fließerde (Hauptlage) über Zersatz aus basaltischem Vulkanit, örtl. Vulkaniklastit (Tertiär) oder Fließschutt (Basislage) gekennzeichnet (BK 50 L 5524). Das westliche und sich nach Nordnordwest erstreckende Randgebiet des Naturschutzgebietes ist ein flaches Muldental, das aus Auengleye mit Gleyen und Pseudogley-Gleyen aus 6



bis 10, z.T. >10 dm Auenschluff und/oder -ton, z.T. aus anderen fluviatilen Sedimenten (Holozän) über Terrassensand (Pleistozän) besteht (BK 50 L 5524).

Braunerden und Ranker sind nährstoffreich und besitzen ein geringes bis hohes Wasserspeichervermögen.

## 2.5.4 Klimatische Kennzeichnung

Die exponierte Höhenlage der Wasserkuppenrhön führt zu einem feucht-winterkaltem Klima, das durchschnittlich an 110 Tage eine geschlossene Schneedecke; über 200 Nebeltage und 140 Frosttage im Jahr aufweist (RP KASSEL 2001). Die mittlere Jahresmitteltemperatur liegt unter 5°C (HLUG 2001). Die mittlere Niederschlagshöhe liegt zwischen 1100 mm und 1200 mm (Jahre 1901-2000) (HLUG 2001). Die Vegetationsperiode ist kurz und beträgt 170 bis 180 Tage (RÖLL 1969). Die Hohe Rhön liegt großklimatisch allerdings noch im östlichen Randbereich der Übergangszone zwischen ozeanischem und kontinentalem Klima (DWD 2003).

## 2.5.5 Vegetation

Die potentiell natürliche Vegetation im Untersuchungsgebiet stellt ein kleinräumiges Mosaik dar, das im wesentlichen durch Luv- und Lee-Effekte zu erklären ist, aber auch mit der besonderen Konstellation des geologischen Untergrundes zusammenhängt (BOHN 1996). Die Hochlage des Schafstein ist durch einen Typischen Hainsimsen-Buchenwald oberhalb 500 m (*Luzulo-Fagetum typicum*) gekennzeichnet, der in den unteren Hang- und Plateaulagen der Leelage in einen Flattergras-Hainsimsen-Buchenwald oberhalb 500 m (*Luzulo-Fagetum typicum*, *Milium*-Variante) sowie in der Luvlage in einen Typischen (*Dentario-Fagetum typicum*) und Hainsimsen-Zahnwurz-Buchenwald (*Dentario bulbiferae-Fagetum luzuletosum*) im Wechsel übergeht (BOHN 1996). Eingestreut sind in beiden Lage immer wieder Sommerlinden-Bergulmen-Hang- und Blockschuttwälder der Hochlagen (*Tilio-platyphylli-Ulmetum glabrae*) (BOHN 1996). Am Fuß der offenen Blockakkumulation ist ein Schachtelhalm-Karpatenbirkenwald (*Equisetum-Betuletum carpaticae*) ausgewiesen (BOHN 1996). In den Auenbereichen finden sich Hainmieren-Erlenwälder (*Stellario-Alnetum glutinosae*) (BOHN 1996).

Die potentiell natürliche Vegetation ist fast vollkommen in der realen Vegetation als naturnaher Wald zu finden und das Gebiet ist von BOHN (1996) nach einer detaillierten Geländeaufnahme als botanisch besonders wertvolles Gebiet vorgeschlagen worden. Heute ist das Untersuchungsgebiet Naturschutzgebiet und als Bestandteil des FFH-Gebietsvorschlags Hohe Rhön integriert (RP KASSEL 2004).

## 2.5.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung

Die sehr kleinen Fließgewässer im Untersuchungsgebiet werden dem Einzugsgebiet des Brandbaches und somit dem Werra-Einzugsgebiet (Wesersystem) zugeordnet (HLUG 2006). Nur wenige Kilometer südwestlich in Richtung Wasserkuppe verläuft die Wasserscheide zum Fuldaeinzugsgebiet, ebenfalls zum Wesersystem zugehörig. Obwohl die Gewässer im Schafsteingebiet im Zuge der Bestandserfassung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) nicht erfasst wurden, kann man die Bäche zum Fließgewässertyp 5.1 Feinmaterialreiche, silikatische Mittelgebirgsbäche zählen. Abflussdaten liegen nicht vor. Die Quellbach- und Bachoberläufe des Reulbaches, der das Untersuchungsgebiet entwässert, sind weder nach der EU-WRRL, noch nach älteren gewässerökologischen Verfahren zur Bewertung der Gewässergü-

te wasserwirtschaftlich erfasst. Auch im Gewässerkundlichen Flächenverzeichnis ist der Reulbach und sein kleines Einzugsgebiet nicht als Nebengewässer des Brandbaches aufgelistet, sondern unter der Gebietsnummer 414230000 zum obersten Einzugsgebiet des Brandbaches (Brandbach von unterhalb Mündung des Schlichtwassers bis zur Straßenbrücke in Wickers) mit einem  $A_E = 11,11 \text{ km}^2$  zusammengefasst (HLUG 2006).

### 2.5.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung

Die Hohe Rhön ist eine Kulturlandschaft, deren Spuren auch in den Kernzonen des Biosphärenreservats zu finden sind. In der Wasserkuppenrhön ist das Grünland mit Wiesen- und Weidennutzung das prägende Landschaftsbild. Daneben finden sich fossile Hochackersysteme (RÖLL 1969). Im Bereich am Schafstein befinden sich keine Siedlungen. Typisch für diesen Teil der Rhön ist vor allem die Streulage von Ortschaften (Streusiedlungen) und das Vorkommen von Einzelhöfen in der freien Landschaft (WIENRÖDER 2009), von denen das Untersuchungsgebiet allerdings keine aufzuweisen hat. Während der keltischen Besiedlung im 1. Jahrhundert v.Chr. waren es vor allem Hochlagen, die in Form von Ringwallanlagen in der Latènezeit bevölkert wurden (HAHN 1974). Waldweide- und Holznutzung waren landschaftsverändernde Merkmale der fränkischen Landnahme von 700 bis 1000 n. Chr., die in der hochmittelalterlichen Ausbauperiode bis 1340 zu einer direkten Besiedlung der Hochlagen mit Ackerbau im Untersuchungsgebiet führten (WENZ 1974). Siedlungsgründungen erfolgten häufig in unmittelbarer Nähe zu Quellgewässern (JENRICH 2007). Die einsetzende spätmittelalterliche Wüstungsperiode dauerte bis 1470 und führte zu einem Rückgang menschlicher Landnutzung und natürlicher Waldverjüngung (WENZ 1974). Der Einfluss der Fürstabtei Fulda und dem Fürstbistum Würzburg führte bis 1600 zu einem Landesausbau des Waldgewerbes mit intensiver Köhlerei, Glashütten, Eisenschmelzen und beginnender Bergbautätigkeit (WENZ 1974). Im 17. Jahrhundert entstanden ausgedehnte Rodungsinseln, die vor allem zur Heugewinnung und zur Weide genutzt wurden (CRAMER VON LAUE 1997). Waldreste wurden als Mittelwald forstwirtschaftlich genutzt. Im 18. Jahrhundert erfolgte mit Einführung der Hochwaldwirtschaft die Anpflanzung von Nadelhölzern, wobei bewaldete Flächen insgesamt wieder an Anteil zunahm (WENZ 1974). Hochweideflächen wurden zeitlich parallel zu Hutungen aus Lesesteinwällen intensiviert (JENRICH 2007). Im Untersuchungsgebiet befindet sich ein offengelassener Steinbruch, in dem Anfang des 20. Jahrhunderts Ignimbrite (bimsreiche, trachytische Pyroklaste) abgebaut wurden (RUTTE 1974, Vulkanologische Karte der Wasserkuppenrhön 2002). Während der Industrialisierung blieb die Rhön ein peripherer, ländlicher Raum, entwickelte sich jedoch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu einem bedeutenden Naherholungsraum. Seit 1991 ist die Hohe Rhön Teil des Biosphärenreservats Rhön und somit Weltkulturerbe. Das Untersuchungsgebiet ist Kernzone, d.h. Natur- und Artenschutz haben hinsichtlich einer naturnahen Entwicklung Priorität.



## 2.6 Hainich

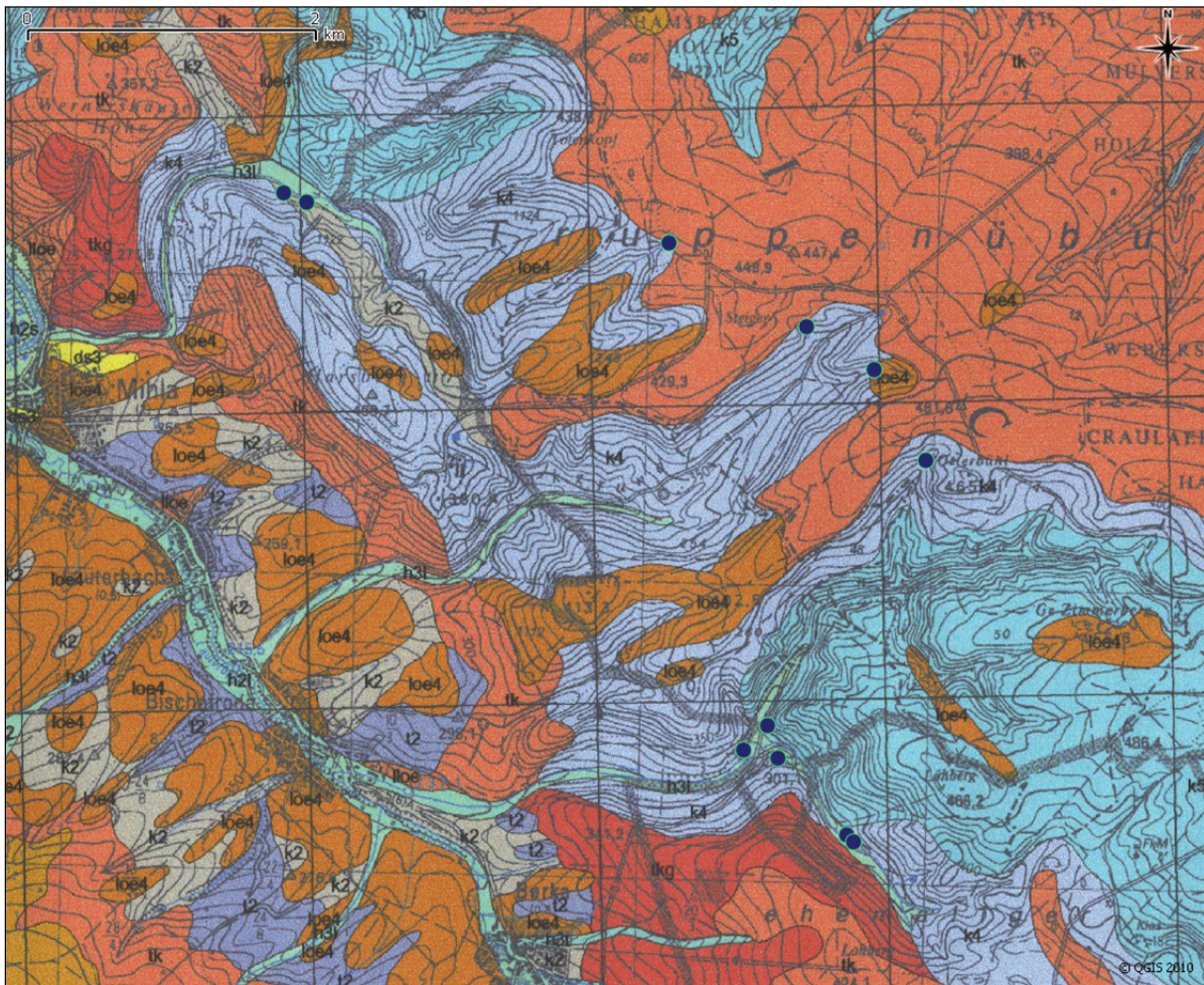


Abb. K2-7: Lage der Quellen im Hainich (Kartengrundlage: Bodengeologische Konzeptkarte Blatt L4928 Bad Langensalza). Maßstab 1:30.000. Eigene Darstellung (mit QGIS). Legende siehe Anhang

### 2.6.1 Geographische Lage und naturräumliche Gliederung

Die Darstellung der naturräumlichen Einheiten, wie sie als Grundlage zur Landesplanung in Thüringen herangezogen wird (HIEKEL ET AL. 2004, HIEKEL ET AL. 1994), weicht von dem System nach MEYNEN & SCHMITHÜSEN (1953) sowie der Einteilung und Nomenklatur nach SSYMANCK ET AL. (1998) ab. Nach HIEKEL ET AL. (2004, 1994) ist der Naturraum 3.2 Hainich-Dün-Hainleite den Muschelkalk-Platten und -Bergländern (3) Thüringens zugeordnet, wird aber in sich nicht weiter in Untereinheiten eingeteilt. BAUER (1959) beschreibt die flächenmäßig nach HIEKEL ET AL. (2004, 1994) identische Naturräumliche Haupteinheit als Ringgau-Hainich-Obereichsfeld-Duen-Hainleite (483). Den Naturraum Hainich (483.5) gliedert KLINK (1969) in die Untereinheiten Hoher Hainich (483.50), Grundbachtal (483.51) und Falkener Platte (483.52). Eine Geographische Landesaufnahme im Maßstab 1:200.000 zur naturräumlichen Gliederung Deutschlands auf Blatt 113 Sondershausen und eine Benennung und Beschreibung aller Einheiten Naturräumliche Haupteinheit der Naturräumlichen Haupteinheit Ringgau-Hainich-Obereichsfeld-Duen-Hainleite ist nicht erfolgt (schriftliche Mitteilung Hr. Burgdorf, BBSR<sup>2</sup>). Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich auf den Nationalpark Hainich mit einer Fläche von 75 km<sup>2</sup> (GROSSMANN 2006).

<sup>2</sup> Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Referat Raum- und Stadtbeobachtung

### 2.6.2 Geologischer Untergrund und Relief

Das anstehende Gestein des Nationalparks Hainich wird aus Schichten des Unteren, Mittleren und Oberen Muschelkalk aufgebaut (GK 25 4928). Der von Südost nach Nordwest verlaufende Muschelkalksattel ist im südwestlichen Abfall in Richtung Lautertal (Linie Berka – Mihla) durch die Anlage zahlreicher Quer- und Längstäler heterogener aufgebaut als der nordöstliche Abfall (NAUMANN 1907). Der Nordostabfall wird aufgrund der Eichenberg-Gotha-Saalfelder Störungszone in Schollenmosaike untergliedert (HIEKEL ET AL. 2004). Der zentrale Bereich des Nationalparks um die Höhenlagen Großer Zimmerberg (455,6 mNN), Große Leite (489 mNN) und Alter Berg (493,9 mNN) wird aus den Gesteinen der Zone der Schaumkalkbänke im Oberen Wellenkalk des Unteren Muschelkalk aufgebaut (GK 25 4928). Im Langen Tal, dem Quelleinzugsbereich der Lauter, stehen mit dem Oberen und Unteren Wellenkalk weitere Schichten aus dem Unteren Muschelkalk an (GK 25 4928). Die Höhenlagen im nordwestlichen Bereich des Nationalparks Hainich werden von Gesteinen aus den unteren Schichten des Oberen Muschelkalk (Schichten mit *Ceratites nodusus*, Kalkplatten, tonige Mergel und Letten) aufgebaut (GK 25 4928). Mittel- und Unterhangbereiche der Täler bestehen aus dolomitischen Kalkplatten und Zellendolomiten des Mittleren Muschelkalks (GK 25 4928). Nördlich der Wüstung Ihlefeld steht im Bereich der Flurbezeichnung Siechenholz (Betteleiche) ein schmaler Streifen Kohlenkeuper des Unteren Keupers an (GK 25 4928). Die angrenzenden nordöstlich anschließenden Randlagen des Nationalparks werden von den Kalkplatten des Oberen Muschelkalk aufgebaut, wohingegen außerhalb des Nationalparks zur Lauter hin vor allem diluvialer Löss und Lösslehm sowie Unterer Keuper (Kohlenkeuper) anstehen (GK 25 4928). Alluviale Talgründe sind erst in den Mittel- und Unterläufen der kleinen Bachtäler zu finden (GK 25 4928).

Der Höhenzug des Hainich erstreckt sich in einem Höhenniveau zwischen 300 und 500 mNN, wobei die schräggestellten Kalktafeln im Norden und Westen des Hainichs als zum Teil mehrfach getreppte Schichtstufen zum Nordthüringer Buntsandsteinland sowie zum Werrabergland-Hörselberge um bis zu 200 Höhenmeter abfallen (HIEKEL ET AL. 2004). Die Täler sind meist als Kerb- und Kerbsohlentäler ausgeprägt (KLAUS ET AL. 1995). Vor allem die karbonatischen Gesteine im Mittleren Muschelkalk (Anhydritfolge) zeigen typische karstmorphologische Erscheinungen wie Erdfälle und Ponore (KLAUS ET AL. 1995, NAUMANN 1907).

### 2.6.3 Böden

Der Muschelkalk im Nationalpark Hainich hat zur vornehmlichen Bildung von Rendzinen mit unterschiedlicher Substratausprägung geführt (KLAUS ET AL. 1995). Im Untersuchungsgebiet überwiegen Rendzinen aus lehmig-steinigen Tönen (DBK 50 L4928). Sie haben Mächtigkeiten von 60 bis 100 cm und werden auch als Kalkton-Rendzina des Oberen Muschelkalk bezeichnet (KLAUS ET AL. 1995). Daneben sind geringer mächtige tonig-steinige Berglehm-Rendzinen des Mittleren Muschelkalk sowie flachgründige Fels-Rendzinen des Unteren Muschelkalk vorzufinden (DBK 50 L4928, KLAUS ET AL. 1995). Die Rendzinen haben eine überwiegend schlechte Wasserspeicherkapazität und neigen zur Austrocknung (HIEKEL ET AL. 2004). In den tieferen Lagen haben sich Löss-Fahlerden mit hoher Wasserspeicherkapazität sowie Löss-Staugleye mit Versauerungstendenz gebildet (DBK 50 L4928, KLAUS ET AL. 1995). Vor allem im Nordostabfall konnten sich in wenigen Tälern tonig-lehmige Außenböden (Vega) entwickeln (DBK 50 L4928, KLAUS ET AL. 1995). Die Böden im Natio-



nationalpark Hainich sind meist frische, nährstoffreiche, sehr basenreiche Kalkböden (AHRNS & HOFMANN 1998).

## 2.6.4 Klimatische Kennzeichnung

Großklimatisch liegt der Hainich am östlichen Rand des Übergangsbereichs zwischen ozeanisch und kontinental geprägtem Klima (DWD 2003). Der mittlere Jahresniederschlag erreicht in den Höhenlagen einen Wert zwischen 650 mm und 800 mm und eine mittlere Jahresmitteltemperatur zwischen 6°C und 7°C (KLAUS ET AL. 1995). Die Niederschläge sind über das Jahr verhältnismäßig gleich verteilt (DWD 2003). Im Vergleich zum Umland, insbesondere dem Inneren Thüringer Becken mit mittleren jährlichen Niederschlagshöhen von 500 mm, werden die hygrischen Verhältnisse im Hainich als westliche Begrenzung des mitteldeutschen Trockenraums recht deutlich (PATZELT 1998). Mikroklimatisch bedeutsam sind südexponierte Hänge, da wegen der Verkarstung die Standorttrockenheit verstärkt wird (KLAUS ET AL. 1995).

## 2.6.5 Vegetation

Die potentiell natürliche Vegetation im Nationalpark Hainich sind Buchenwälder stark basenreicher bis kalkhaltiger Standorte (BUSHART & SUCK 2008). Der überwiegende Anteil ist durch Waldgersten-Buchenwald (*Hordolymo-Fagetum*) im Wechsel mit Waldmeister-Buchenwald (*Galio odorati-Fagetum*) charakterisiert (BUSHART & SUCK 2008). Der südwestliche Teil ist gekennzeichnet durch Bergseggen-Waldgersten-Buchenwald (*Carici-Fagetum*) auch Hangbuchenwald genannt (HOFMEISTER 1997), örtlich mit Orchideen-Buchenwald (*Cephalanthero-Fagetum*) (BUSHART & SUCK 2008). Der Hainich ist heute das größte zusammenhängende Buchenwaldgebiet auf Muschelkalk in Deutschland (HIEKEL ET AL. 2004). Die aktuelle Vegetation entspricht häufig der potentiell natürlichen Vegetation. Rezente Waldgesellschaft ist vorwiegend ein Waldgersten-Buchenwald (*Hordolymo-Fagetum*) (MÖLDER, BERNHARD-RÖMERMAN & SCHMIDT 2006, KLAUS ET AL. 1995). Neben der Rotbuche ist die Wald- oder Haargerste (*Hordelymus europaeus*) Leitart dieser Gesellschaft (HOFMEISTER 1997). Weitere Baumarten sind Esche (*Fraxinus excelsior*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Sträucher wie Seidelbast (*Daphne mezereum*), Rote Heckenkirsche (*Lonicera xylosteum*) und Weißdornarten (*Crataegus* sp.) sowie zahlreiche Arten einer krautreichen Schicht (MÖLDER, BERNHARD-RÖMERMAN & SCHMIDT 2006, KLAUS ET AL. 1995). Die steileren, südexponierten Hanglagen gehen in den Orchideen-Buchenwald (*Cephalanthero-Fagetum*), ansonsten in die Bingelkraut-Gruppe des *Hordolymo-Fagetum* über (KLAUS ET AL. 1995). Die Vegetationsgesellschaft der Löss-Standorte ist meist ein Waldmeister-Buchenwald (*Galio odorati-Fagetum*) (KLAUS ET AL. 1995). Reiner Nadelwald aus Fichte und Kiefer nehmen mit 10 Prozent Flächenanteil am Naturraum Hainich einen geringen Anteil ein (KLAUS ET AL. 1995). In Bachtälern kommen Auenwälder des *Alnenion glutinoso-incanae* sowie Winkelseggen-Erlen-Eschenwald (*Carici remotae-Fraxinetum excelsioris*) vor (AHRNS & HOFMANN 1998). Offenland wie auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz Kindel befindet sich zum Teil in Sukzession und wird in geringem Maß durch Schafbeweidung frei gehalten (GROSSMANN & BIEHL 2007, PATZELT 1998). Die eigendynamische Entwicklung naturnaher Kalkbuchenwälder ist ein wesentliches Ziel im 1997 konstituierten Nationalpark (GROSSMANN 2006).

### 2.6.6 Gewässerkundliche Kennzeichnung

Das Gewässernetz im Nationalpark Hainich ist durch die parallel zum Gebirgskamm verlaufende Wasserscheide zwischen Werra- und Unstrut-Einzugsgebiet und damit zwischen dem Weser- und dem Elbesystem gekennzeichnet (PATZELT 1998). Die Bäche fließen mehr oder weniger in einem rechten Winkel zum Verlauf der Wasserscheide nordostwärts zur Unstrut bzw. südwestwärts zur Werra ab (TK 50 L 4928). Charakteristisch ist, dass die meisten Bäche, vor allem im Oberlauf des Hainichs periodisch Wasser führen (sommertrockene Bäche) und sich Trockentäler ausbilden sowie das Jahresmittel der Abflussspende zwischen 4,8 und 12,6 l/s\*km<sup>2</sup> beträgt (HIEKEL ET AL. 2004). Die meisten Bäche entspringen im Mittleren und Oberen Muschelkalk, wo die Gewässernetzdichte über 0,4 km Fließlänge pro km<sup>2</sup> beträgt, ansonsten mit 0,05 km/km<sup>2</sup> sehr gering ist (HIEKEL ET AL. 2004). Im Hainich lassen sich die Fließgewässer, die zur Unstrut tributär sind, meist dem Fließgewässertyp 6 Feinmaterialreiche, karbonatische Mittelgebirgsbäche zuordnen (POTTGIESSER & SOMMERHÄUSER 2006). Bei den Fließgewässern, die der Werra tributär sind, überwiegt der Fließgewässertyp 7 Grobmaterialreiche, karbonatische Mittelgebirgsbäche (POTTGIESSER & SOMMERHÄUSER 2006). Der ökologische Zustand der Fließwässer im Nationalpark Hainich ist vom Thüringen Landesamt für Umwelt und Geologie nicht erfasst.

Aufgrund der unterschiedlichen hydrogeologischen Eigenschaften der verschiedenen Muschelkalkschichten sind die Grundwasserverhältnisse regional differenziert (HIEKEL ET AL. 2004, JORDAN & WEDER 1995). Die Grundwasserführung erfolgt im Oberen Muschelkalk in Kluft- und Karstgrundwasserleitern des Trochitenkalks, im Mittleren Muschelkalk in Karstgrundwasserleitern mit zum Teil starken Auslaugungen vor allem in der Unteren Anhydrit-Folge sowie im Unteren Muschelkalk im Wellenkalk (JORDAN & WEDER 1995). Die Entstehung von Grundwasser ist vor allem an Grenzen zu tonigen Schichten als stauende Grundwassernichtleiter möglich, wo entsprechende Schichtquellen auftreten, wenn solche Schichtgrenzen angeschnitten sind (HIEKEL ET AL. 2004). Die Rate der Grundwasserneubildung ist ebenfalls räumlich heterogen verteilt, aber insgesamt mit 5 bis über 6 l/s\*km<sup>2</sup> hoch einzustufen (JORDAN & WEDER 1995).

### 2.6.7 Kulturlandschaftliche Entwicklung

Im Untersuchungsgebiet Nationalpark Hainich finden sich Bodendenkmale wie Steinkreuze und Kreuzsteine sowie Wüstungen wie Sülzrieden oder Ihlefeld. Ansonsten fehlen Spuren menschlicher Siedlungen weitestgehend (PATZELT 1998). Reste von Wehr- und Wallanlagen sowie Gräben im weiteren Naturraum Hainich deuten auf menschliche Tätigkeit und Siedlungsgeschichte (KLAUS ET AL. 1995). Funde frühester Besiedlung wurden am Südostrand des Hainichs gemacht und sind der Zeit der Lini- enbandkeramik des Neolithikums sowie der Bronze- und Eisenzeit zugeordnet (PATZELT 1998). Siedlungen am Südwestrand des Hainichs dürften mit Ortsnamen wie Berka, Mihla, Nizza oder Hallungen als vorfränkische Siedlungen und Orte mit den Endungen -heim und -hausen als Orte der fränkischen Landnahme anzusehen sein (PATZELT 1998). Entsprechende Flur- und Wüstungsbezeichnungen, die mit den Endungen -rode, -rieden, -bach oder -forst gekennzeichnet sind, können dem Landesausbau nach 800 zugeordnet werden (PATZELT 1998). Im 14. Jahrhundert wurde der Wald als Viehweide und zum Holzeinschlag genutzt, die bald in einen Mittelwaldbetrieb und im 18. und 19. Jahrhundert zu einer überregional bedeutsamen Plenterwald-Bewirtschaftung unter Förderung der Rotbuche überging (KLAUS ET AL. 1995).

1935 entstand im südöstlichen Teil des Hainich ein Truppenübungsplatz der Wehrmacht, der während der DDR-Zeit weiter bestand sowie im nördlich anschließenden Weberstedter Holz erweitert wurde (KLAUS ET AL. 1995). Die extensive Nutzung der Truppenübungsplätze führte zur Ausprägung forstlich nicht genutzter, naturnaher Wälder, deren Entwicklung der Sukzessions- und Naturwaldforschung dienen (MÖLDER, BERNHARD-RÖMERMANN & SCHMIDT 2008). Der Ende 1997 konstituierte Nationalpark Hainich hat neben der Aufgabe den Arten- und Naturschutz zu fördern sowie der Erforschung einer naturnahen Buchenwaldentwicklung (Prozessschutz) vor allem eine Naherholungsfunktion. Somit hat das Gebiet eine wichtige Bedeutung für die regionale Tourismusbranche (MODER 2007).



### 3. Untersuchungsansatz

Der Untersuchungsansatz dieser Arbeit erfolgt nach Zielen und Aufgaben der geographischen Umweltforschung (OPP 2000), auch als ökologische Landschaftsforschung (Landscape Research) bezeichnet (BARSCH 2000a, DRDOŠ 1983, NEEF 1963). OPP (2000) formuliert das Ziel der landschaftsbezogenen Umweltforschung in der Bereitstellung wissenschaftlicher Grundlagen für eine nachhaltig naturverträgliche Landschafts- und Umweltentwicklung unter gesellschaftlichen und politischen (Landsplanungs) Rahmenbedingungen. Das bedeutet, der Mensch ist Bestandteil von Ökosystemen und neben naturräumlichen Faktoren beeinflusst die anthropogene Nutzung die Landschaft und deren Kompartimente. Das Wasser ist ein Element der Landschaft, das als fließendes oder stehendes Wasser einschließlich Gewässerbett in Oberflächengewässern, in unterirdischem Boden- und Grundwasser sowie in und auf der Vegetation die hydrologischen Kompartimente im Wasserkreislauf miteinander vernetzt (vgl. DIN 1994, WOHLRAB ET AL. 1992). Quellen sind Teil dieses Kompartiments und Forschungsgegenstand der Geographie und zwar als Element des Naturraumes für die Physische Geographie sowie als Element des Kulturräume für die Kulturgeographie. Unter der Bereitstellung wissenschaftlicher Grundlagen kann nach NEEF (1963) eine strengere Erfassung der geographischen Realität verstanden werden, die möglichst quantitativ zu bestimmen ist, nämlich dort, wo homogene Einheiten das materielle System determinieren (z.B. Quellflur als Vegetationseinheit). Diese kleinsten homogenen Flächen oder Einheiten sind grundlegender Forschungsgegenstand der ökologischen Landschaftsforschung. Untersuchungsgegenstand oder Forschungsobjekt ist in dieser Arbeit das Eukrenal von Quellgewässern, also der unmittelbare Ort, wo das Grundwasser an die Erdoberfläche austritt. Dabei werden ausschließlich Waldquellen deutscher Mittelgebirgslandschaften (Hessen, Thüringen) betrachtet, um möglichst weitestgehend naturnahe Gewässerstrukturen zu untersuchen (vgl. Kapitel 2). Das Eukrenal kann in die topologische Dimension (NEEF 1963) eingeordnet werden, allerdings befasst sich diese Arbeit mit der Fragestellung, in wie weit der Quellmund selbst als homogene Einheit gewässerökologisch zu kennzeichnen ist. Denn wesentliches Habitatmerkmal ist meist eine heterogene Struktur der Substrate, deren Charakter als Mikrohabitat der Quellfauna untersucht wird. Deshalb soll hier zunächst das Untersuchungsprogramm (Kapitel 3.1) als rahmengebende Struktur (Forschungsdesign) dargestellt werden, um dann die Arbeit in den Zusammenhang eines räumlich-hierarchischen Systems zu stellen (Kapitel 3.2), der grundlegende methodische Herangehensweisen definiert, die durch einen integrativen (Kapitel 3.3) und regionalspezifischen (Kapitel 3.4) Ansatz weiter gekennzeichnet werden. Die einzelnen Untersuchungsmethoden werden in Kapitel 4 beschrieben.

#### 3.1 Untersuchungsprogramm

Das Untersuchungsprogramm ist in die Arbeitsschritte der Landschaftsforschung (Landschaftsanalyse, Landschaftsdiagnose und Landschaftsprognose) nach DRDOŠ (1983) untergliedert (siehe Abb. K3-1; vgl. BARSCH 2000b). Die Landschaftsanalyse soll abiotische und biotische Strukturen und Merkmale des Eukrenals untersuchen und kennzeichnen sowie deren räumliche Verteilung feststellen. Die Landschaftsdiagnose ist eine Auswertung quantifizierbarer und qualitativ beschreibbarer Merkmale der Ergebnisse aus der Landschaftsanalyse (Erfassung). Hierbei werden Modelle, als methodische Hilfsmittel zur Klassifizierung oder Typisierung, d.h. als empirisch basierte Unterscheidungskategorien (vereinfachte Abstraktion) der geographischen

Realität abgeleitet und überprüft (MÜLLER 1999). Die Landschaftsprognose schätzt die Modellergebnisse aus der Landschaftsdiagnose ein, um die ökologische Relevanz der Habitattypen zu kennzeichnen sowie Handlungsempfehlungen im Sinne quellschutzrelevanter Managementstrategien darzustellen.

Die Landschaftsanalyse gliedert sich in dem hier dargestellten Design (Abb. K3-1) in die Arbeitsschritte Erprobung und Erfassung. Zunächst wird die feldökologische Erfassungsmethodik zur kombinierten Kartierung der Gewässermorphologie (Substratkartierung) und die Probennahme der Fauna im Feld entwickelt und erprobt. Daraufhin wird ein umfassendes Erfassungsprogramm mit Kartierbogen-Aufnahme, Probennahme der Fauna, Vor-Ort-Analytik, Fotodokumentation und Laborarbeit (Determination der Fauna) sowie begleitende Recherche entwickelt und durchgeführt. Die Datensicherung und Datenhaltung erfolgt im nächsten Arbeitsschritt der Landschaftsdiagnose im Datenmanagement. Hierbei handelt es sich um eine doppelte Datenhaltung, d.h. neben der projektbezogenen Datenbank und der Integration in ein geographisches Informationssystem (GIS), werden alle Projektdaten sowie die Faunaprobennahmen in das Archiv und in die externe Datenbank des Biospeläologischen Katasters von Hessen beim Landesverband für Höhlen- und Karstforschung e.V. (in Fulda) und damit auch in das hessische Artenschutzprogramm NATIS übertragen. Die Auswertung der Daten ist Gegenstand statistischer Analysen. Diese Diagnose untersucht den Zusammenhang zwischen Substrattypen und der Besiedlung. Die Validierung (statistische Repräsentanz) führt zur Ableitung von Habitattypen in einem integrativen Arbeitsschritt (Kapitel 3.3) als Arbeitsgrundlage der anschließenden Landschaftsprognose, die letztendlich in der Synthese zu praxisrelevanten Handlungsempfehlungen für den Quellschutz (Kapitel 7) führt. Die Ergebnisse der ökologischen Relevanz, das heißt welche Taxa sich als Indikatoren der Substrat- und Habitatpräferenz eignen, stellen eine mögliche Grundlage für gewässerökologische Bewertungsverfahren dar, was jedoch nicht thematischer Gegenstand dieser Arbeit ist (gestrichelter Kasten in Abb. K3-1). Die Kennzeichnung bestimmter Taxa als Bioindikatoren der Substrat- und Habitattypenpräferenz ist im Sinne des Terminus *Zeigerparameter* (PLACHTER 1991) zu verstehen, auch wenn im Folgenden der Begriff *Indikatoren* benutzt wird. Der hier zugrunde gelegte Ansatz des Untersuchungsprogramms kann als *bottom up*-Ansatz angesehen werden (Arbeitsabfolge: Erfassen - Modellieren - Typisieren) (STEINHARDT & VOLK 2000).

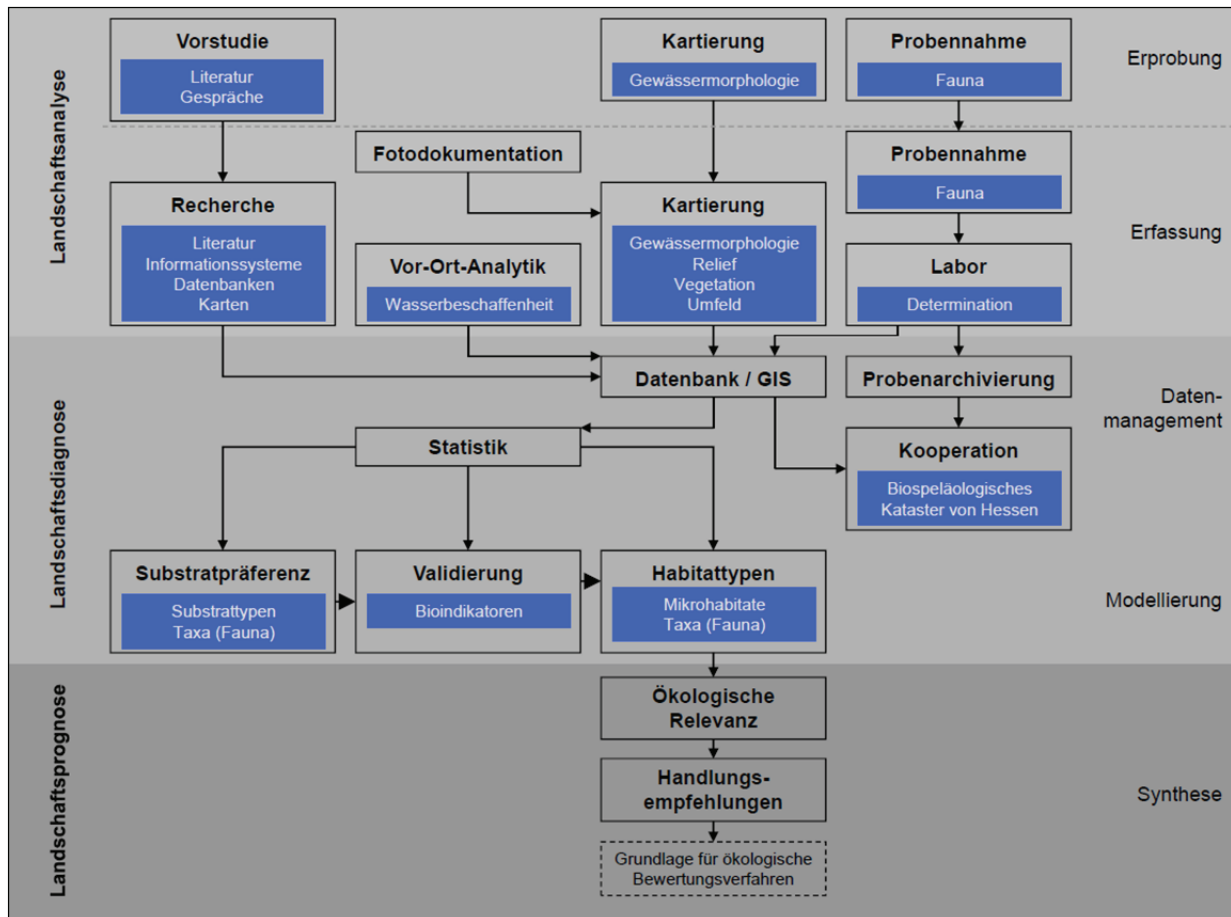


Abb. K3-1: Untersuchungsprogramm dieser Arbeit. Eigene Darstellung

### 3.2 Räumlich-hierarchischer Ansatz

Eine räumlich-dimensionale Einordnung des Forschungsobjekts Eukrenal bzw. der Quellgewässer erscheint aus folgenden Gründen sinnvoll:

1. Bislang ist ein räumlich-hierarchisches Rahmensystem (*hierarchical framework*, *geomorphological framework*) nur für Fließgewässer vorgenommen worden (FRISSELL ET AL. 1986, THOMSON ET AL. 2001, vgl. Zusammenfassung in ALLAN & CASTILLO 2007), d.h. für Quellen ist ein vergleichbarer theoretischer Ansatz nicht bekannt;
2. Es existieren in der landschaftsökologischen und in der hydrologischen Forschung unterschiedliche Termini und unterschiedliche Dimensions- und Skaleneinteilungen für gewässerbezogene Systemkomponenten;
3. Der Zusammenhang von Hydrotopen zum Gewässernetz und zum Einzugsgebiet ist zur ökologischen Kennzeichnung von Quellen in Untersuchungsprogrammen (Forschungsdesign) räumlich-methodisch fundiert wenig berücksichtigt worden.
4. Quellen sind in der topologischen Dimension heterogen, so dass auch für die Mikroskala ein Lösungsansatz zur Typisierung notwendig ist (Problem der Heterogenität in der Landschaftsökologie; NEUMEISTER 1999);
5. Räumlich-hierarchische Bezugssysteme unterstützen die Kennzeichnung von Beziehung zwischen Struktur und Funktion in Gewässertypen (z.B. Substrattyp als Mikrohabitat und deren ökologische Bedeutung für das Eukrenal als Makrohabitat) (POOLE 2002).

Maßstab landschaftsökologischer Forschung <sup>1</sup>				Hydrologische Systemkomponenten <sup>2</sup>		Hydrologische Skalen <sup>3</sup>		
Geographische Dimension	Physisch-geographischer Bezugsraum	Naturräumliche Gliederung	Patch dynamic concept			Längen	Flächen	Skalenbereich
geosphärisch	Geosphäre	-				≥ 100 km	≥ 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	Makroskala
	Zone	Geographische Zone				30 – 100 km	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	
regionisch	Makroregion	Naturräumliche Region						Mesoskala
	Mikroregion							
chorisch	Makrochore	Naturräumliche Großeinheit				10 – 30 km	10 <sup>2</sup> – 10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup>	
	Mesochore	Naturräumliche Haupteinheit				1 – 10 km	1 – 10 <sup>2</sup> km <sup>2</sup>	
	Mikrochore	Naturräumliche Untereinheit				0,1 – 1 km	0,1 – 1 km <sup>2</sup>	
	Nanochore (Standortgefüge)							
topisch	(Geo)Ökotoptop (Standort)	Naturräumliche Grundeinheit				30 – 100 m	0,001 – 0,1 km <sup>2</sup>	Mikroskala
						≤ 30 m	≤ 0,001 km <sup>2</sup>	
subtopisch <sup>3b</sup>	Physiotop	-				≤ 1 m	≤ 1 m <sup>2</sup>	Nanoskala <sup>3b</sup>

Abb. K3-2: Einordnung von Quellgewässern und deren Kontext zum Einzugsgebiet in geowissenschaftlichen Hierarchieniveaus (in Anlehnung an VOLK & STEINHARD 1999a). 1) nach SCHMITHÜSEN 1949, MEYEN & SCHMITHÜSEN 1953, NEEF 1967, NEEF 1963, LESER 1997, BARSCH 2000a, WHITE & PICKETT 1985; 2) nach FRISSELL ET AL. 1986, JUNGWIRTH ET AL. 2003; 3) nach BECKER 1992; 3b) nach DUTTMAN ET AL. 2000. Eigene Darstellung.

Der hier berücksichtigte räumlich-hierarchische Untersuchungsansatz wird als dimensionsübergreifender Ansatz aufgefasst. Lautet der Übergang zwischen unterschiedlichen Dimensionen (Skalenwechsel) für Fließgewässer, im Sinne eines räumlichen Kontinuums, *from headwaters to mouth* (VANNOTE ET AL. 1980) sowie *the valley rules the stream* (HYNES 1975), d.h. eine Integration des Gewässers (als Aneinanderreihung von Punkten zu einer Linie bzw. Netzstruktur) in die Landschaft (Einzugsgebiet als umgebendes Polygon; *riverscapes* nach ALLAN 2004), so ist eine solche theoretische Vorstellung für Quellgewässer vakant, obwohl das Krenal ein eigenständiges Gewässerökosystem ist (SCHÖNBORN 2003, BEIERKUHNLEIN & GOLLAN 1999).

Abb. K3-2 zeigt die Einordnung des Eukrenals im Kontext zum Einzugsgebiet in ein geowissenschaftliches Hierarchie-Niveau, in der Gegenüberstellung zwischen landschaftsökologischen Dimensionen und hydrologischen Skalen. Das Substrat wird demnach auf Ebene der Nanoskala eingeordnet, was dem *habitat scale* bzw. dem *microhabitat system* entspricht (vgl. GIBERT 1991, GIBERT ET AL. 1990). So gesehen ist das Substrat auf der Stufe der *local, within-plot scale* zu sehen, wenn die Eigenschaft als Mikrohabitat zu untersuchen ist (MORRISON, MARCOT & MANNAN 2006). Das Substrat ist Bestandteil des Physiotops, das SCHMITHÜSEN (1949) als strukturell und funktional homogenen Naturraum definiert, das jedoch flächenmäßig über die Nanoskala hinaus, in den Bereich der Mikroskala hineinreicht. Die Differenzierung der topischen Skala erscheint deshalb hilfreich, da am Beispiel des Eukrenal deutlich wird, dass eine Quelle als Hydrotop (im Sinne von NEEF 1963) weiter unterteilbar ist, vor allem weil es sich hier um ein Ökoton mit Teillebensräumen handelt und auch hydrologisch zwischen aquatischen, amphibischen und terrestrischen Bereichen Unterschiede bestehen. Die kleinräumige Einheit ist in der subtopischen Dimension oder Nanoskala dargestellt (DUTTMANN ET AL. 2000, BARSCH 2000a). Das gesamte Eukrenal ist das Ökotoptop, ein Landschaftselement, welches als Biotop eine spezifische Artengemeinschaft aufweist (*patch scale* oder Mikroskala). Es ist von der Arealgröße vergleichbar mit einem Fließgewässerabschnitt (*segment* oder *reach system*), das sich ebenfalls aus unterschiedlichen Mikrohabitaten zusammensetzt. Quellen sind im Sinne eines Skalenwechsels in das Gewässersystem bzw. die Landschaft bzw. den Naturraum integriert. Diese chorische Dimension wird auch als *landscape scale* oder *stream system* bezeichnet, also Gewässernetz und Einzugsgebiet der Mesoskala. Je nach Größe bzw. Lauflänge eines Gewässers werden die unterschiedlichen chorischen Dimensionen (Nano- bis Makrochore) erreicht, bis hin zu



Stromlandschaften (regionische Dimension, Makroskala). Ein Bezug von Quellen zum Einzugsgebiet kann naturräumlich entsprechende abiotische und biotische Unterschiede zur Ursache haben. Dieses hierarchische System korrespondiert mit dem regionalspezifisch-gewässertypologischen Ansatz (Kapitel 3.4). Hier ist der geologische Untergrund zu benennen (vgl. Abb. K3-3), der zu mesoskaligbasierten Klassifizierungsmöglichkeiten, wie Silikat- oder Carbonatquelle führt. Die räumliche Berücksichtigung des Gewässer-Einzugsgebietes als Untersuchungsansatz innerhalb der Arbeitsschritte der Landschaftsforschung (vgl. Abb. K3-1) gibt der Systembetrachtung Vorrang (VOLK & STEINHARDT 1999a, 1999b). Es wird eine funktionale Verbindung der kleinräumigsten Betrachtung lokaler Merkmale (z.B. der Art und Beschaffenheit des Substrats), bis hin zu regionalen Merkmalen (chorische Dimension), wie dem geologischen Untergrund hergestellt (Abb. K3-3). Das Vorkommen oder Nichtvorhandensein bestimmter Arten auf der subtopischen und topischen Skala kann somit auch als „regionaler Filter“ (*abiotic filters at hierarchical spatial scale*; vgl. ALLAN & CASTILLO 2007) durch mesoskaligbasierte Charakteristika aus dem Einzugsgebiet bzw. der naturräumlichen (Unter- oder Haupt-)Einheit erklärt werden. Umfeldfaktoren wie die Landnutzung in Beschaffenheit der Waldform (Laub-, Misch- und Nadelwald) können auf Ebene kleiner Quelleinzugsgebiete in eine Modellierung einfließen. Der gewässermorphologisch determinierte Quelltyp ergibt sich aus den Merkmalen des Mikroreliefs unmittelbar am Standort des Quellbereichs, vor allem aus der Hangneigung und der Geländemorphologie (z.B. Steilwand: Rheokrene, Verebnung: Helokrene, Limnokrene). Den Ansatz übergeordnete Faktoren anderer Skalen in Untersuchungen und Bewertungsverfahren einzubeziehen kann als *downscaling* bezeichnet werden (DUTTMANN ET AL. 2000). Der Versuch, das Substrat als subtopisches Unterscheidungsmerkmal des topischen Eukrenal heranzuziehen, kann als *upscaling*-Ansatz aufgefasst werden, gewissermaßen als „Aufstieg in der Betrachtungsebene“ (STEINHARDT & VOLK 2000:82). Unter Berücksichtigung skalenspezifischer Arbeitsmethoden (Intensitätsstufen der Bearbeitung; vgl. BASTIAN 1991) hat ein räumlich-hierarchischer Ansatz auch unmittelbar Auswirkungen auf das methodische Untersuchungsprogramm. Kleinräumige Untersuchungen (subtopologische und topologische Dimension) erfordern umfangreiche Erfassungsmethoden, deren Aufwand mit zunehmender Dimensionsstufe (bis in chorische Dimensionen) abnehmen bzw. eigene feldökologische Kartierarbeiten zu aufwendig erscheinen lassen und hier externe Daten (Kartenwerke, Informationssysteme) genutzt werden (vgl. die rechte Spalte der Abb. K3-3).

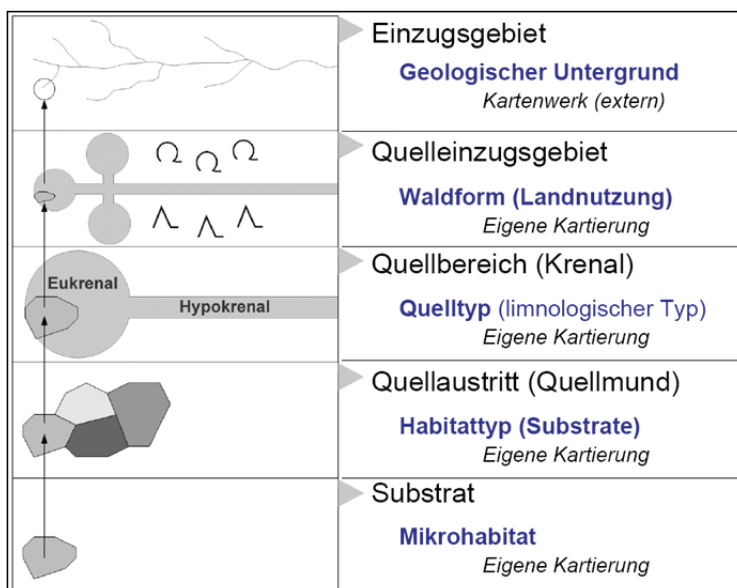


Abb. K3-3: Räumlich-hierarchisches System für Quellen. Eigene Darstellung.

Die kleinste räumliche und sachliche Einheit ist das Substrat, das auf subtopischer Ebene als Mikrohabitat erfasst wird (Abb. K3-3). Bei der Untersuchung der Mikrohabitat-Fauna-Beziehung werden hierbei skalenübergreifende Sachinformationen einbezogen, d.h. es handelt sich nicht um eine isolierte, sachorientierte Analyse bestimmter Geofaktoren (BASTIAN 1991). Auch wenn im Fokus die kleinräumige Beziehung von Besiedlung und Substrat analysiert wird, werden sowohl abiotische und biotische Daten erhoben, die auch räumlich übergeordnet sind und einen Sachbezug zur Mikrohabitat-Fauna-Beziehung haben. Das Kompositum aller Substrattypen bildet auf der nächst höheren räumlichen Ebene im Eukrenal einen zu klassifizierenden Habitattyp, der für den gesamten Quellaustritt zu beschreiben ist (z.B. „grobmaterialdominiert, organisch geprägt“ bei überwiegend grobkörnigen mineralischen Substraten mit einer hohen Deckung an organischen Substraten wie Falllaub, Totholz und Moosen). Dieser substratbezogene Habitattyp wird wiederum eine räumliche Ebene höher, dem gesamten Quellbereich (Krenal) einem Quelltyp (Helo-, Rheo-, Limnokrene sowie Mischtypen) zugeordnet (z.B. „grobmaterialdominierte, organisch geprägte Helokrene“). Die Zuordnung des Quellgewässers in den Kontext zum Quellgewässer-Einzugsgebiet erfolgt über Kennzeichnungen der Land- bzw. Bodennutzung mittels der Waldform (Bruch-/Quell-, Laub-, Misch- und Nadelwald) im unmittelbaren Einflussbereich der Quelle von mindestens 100 m Umkreis, da vor allem die Waldbedeckung als Steuergröße der im Quellbereich vorkommenden organischen Substrate angesehen wird. Der geologische Untergrund mit dem anstehenden Gestein, wie es im übergeordneten Naturraum bzw. dem Gewässer-Einzugsgebiet vorherrscht, ist ausschlaggebend für das Vorkommen der mineralischen Substrate. Die einzelnen räumlichen Ebenen implizieren weitere wichtige Faktoren, die (unter Vorbehalt des Arbeitsaufwands) zu berücksichtigen sind. Hierbei sind vor allem Relief- und Lageeigenschaften des Quellstandortes zu nennen, die im Untersuchungsprogramm berücksichtigt werden (z.B. Hangneigung, Exposition, Höhenlage).

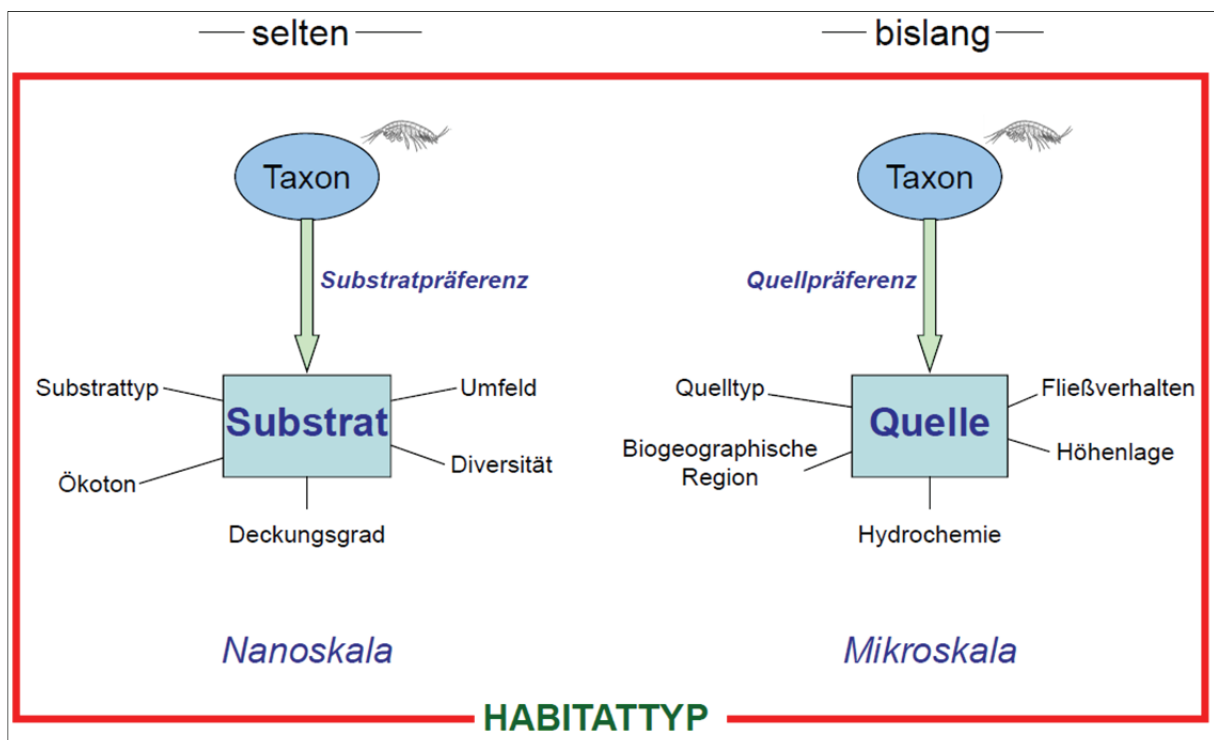


Abb. K3-4: Untersuchungsansätze der Habitat-Fauna-Beziehung von Quellgewässern. Eigene Darstellung

Bislang lag der Schwerpunkt ökologischer Untersuchungen zur Habitat-Fauna-Beziehung in der Betrachtung der Quellpräferenz oder Stenotopie zum Lebensraum Quelle (vgl. rechten Teil der Abb. K3-4). Als kleinste räumliche Einheit wird demnach das gesamte Eukrenal definiert. Eine weitere Unterteilung räumlicher Einheiten, die durch Substrattypen definiert wird, ist bislang selten erfolgt. Das heißt, eine Differenzierung auf der Nanoskala zur Untersuchung der Substratpräferenz der Fauna ist defizitär (linker Teil der Abb. K3-4). Aus der Abb. K3-4 wird auch ersichtlich, dass die Untersuchung der Substratpräferenz zunächst als monokausaler Zusammenhang erscheint, jedoch das Substrat im Sinne eines Parameters von weiteren Faktoren (Substrattyp, Ökotoncharakter, Deckungsgrad, Diversität und Umfeld) beeinflusst wird. Diese Parameter-Integration lässt sich unter Berücksichtigung weiterer Faktoren auch auf der Mikroskala (im gesamten Eukrenal) feststellen. Das bedeutet, obwohl eine zunächst einfache Beziehung erfasst wird (Substrat-Taxon- oder Mikrohabitat-Fauna-Beziehung) müssen zahlreiche weitere Umweltfaktoren und Parameter berücksichtigt werden. Ein umfangreiches Erfassungsprogramm (vgl. Abb. K4-1 in Kapitel 4) ist notwendig, um andere mögliche Einflüsse die das Vorkommen eines Taxon (oder dessen Fehlen) bestimmen zu berücksichtigen.

### 3.3 Integrativer Ansatz (landschaftsökologischer Ansatz)

Ein integriert-ökologischer Arbeitsansatz setzt eine gesamtheitliche (holistische) Betrachtung von Gewässern voraus, d.h. eine repräsentative, einheitliche Erfassung und Analyse des gesamten Ökosystems mit seinen physikalisch-chemischen, hydromorphologischen und biotischen Merkmalen zur Interpretation der Wechselwirkungen und Beziehungen untereinander (HAMM 1998, PINTER 1998). Repräsentativ meint in diesem Zusammenhang, dass Ganzheiten wie Ökosysteme eine Komplexität aufweisen, die nicht vollständig zu erfassen und zu bestimmen ist, aber eine Auswahl wichtiger Faktoren in Abhängigkeit der wissenschaftlichen Fragestellung vorgenommen wird. Obwohl es sich in dieser Arbeit, bezogen auf einen kleinräumigen Wirkungsbereich, um einen einzelflächenbezogenen Ansatz handelt, können aufgrund der Berücksichtigung eines regionalspezifischen Ansatzes (Kapitel 3.4) durch Aggregation separat gewonnener Ergebnisse gesamtheitliche Betrachtungen berücksichtigt werden (SYRBE, RÖDER & BASTIAN 2001, SYRBE 1999). Hierbei kommt wiederum dem räumlich-hierarchischem Ansatz (Kapitel 3.2) eine besondere Bedeutung zu, denn das Einzugsgebiet bzw. die Landschaft, in der sich ein Gewässer befindet, ist der geographische Raum, in dem unterschiedliche Umweltfaktoren, Prozesse und anthropogene Belastungen stattfinden. Dem Wortsinn folgend, kann das Einzugsgebiet als *Integral* beschrieben werden, das als funktionale *Einheit* ökologischer Vorgänge räumlich abbildet (ASPINALL & PEARSON 2000). Hierbei meint integrativer Ansatz auch, methodologische Arbeitskonzepte der Hydrologie und Landschaftsökologie in Bezug zu setzen (SCHRÖDER 2006), wobei eine skalenabhängige Interdependenz zwischen Landschaft und Einzugsgebiet hergestellt wird: „Again, composition and configuration of structural elements determine the catchment pattern. This pattern is related to terrain, soil, biota and their respective interactions, [...] that control spatially dependent catchment processes and functions“ (SCHRÖDER 2006:969). Der landschaftsökologische Ansatz besteht darin, dass biowissenschaftliche und geowissenschaftliche Untersuchungsaspekte im Untersuchungsprogramm verknüpft und vereinheitlicht werden (SCHREIBER & OPP 1999).

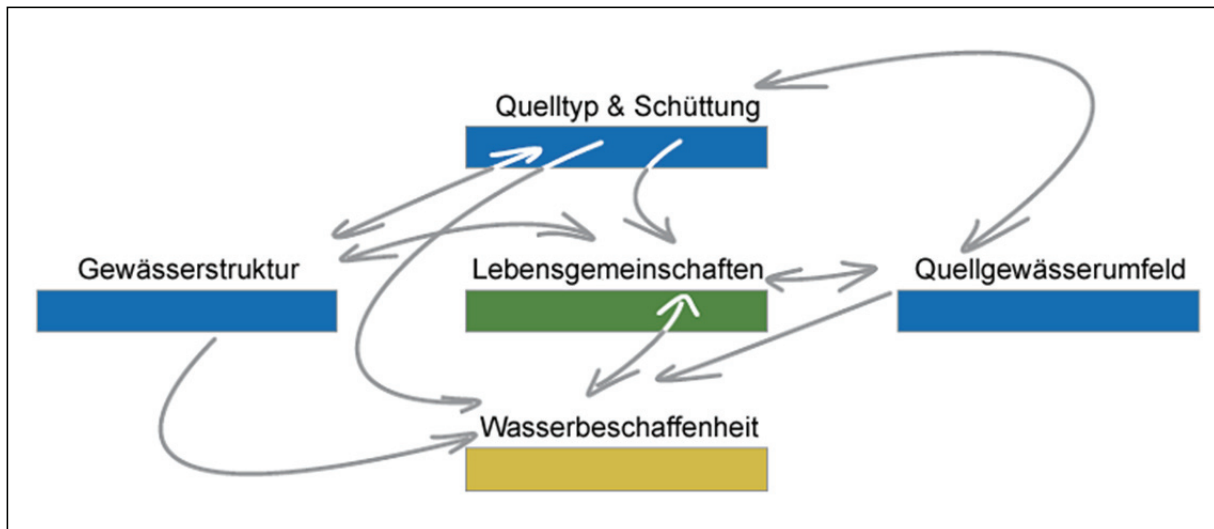


Abb. K3-5: Wesentliche ökologische Komponenten in einem Quellgewässer-Einzugsgebiet. Darstellung nach BORCHARDT (1996) modifiziert.

Die wichtigsten Umweltfaktoren in einem Quellgewässer-Einzugsgebiet, die in einem integriert ökologischen Ansatz Berücksichtigung finden, sind in Abb. K3-5 abgebildet. Hydrologisch wirksam ist die Schüttung als Abfluss von Quellgewässern sowie der reliefabhängige Quelltyp, der die Austrittsform des Grundwassers beeinflusst und entsprechend die Ausprägung der Gewässerstrukturen mitbestimmt. Geogene Eigenschaften (geologischer Untergrund), Landnutzungsmerkmale (z.B. Waldform) sowie Reliefeigenschaften (Hangneigung) des Quellgewässerumfeldes haben Auswirkungen auf den Quelltyp, die Schüttung und die Wasserbeschaffenheit. Eine direkte Beziehung zwischen der Gewässerstruktur und dem Quellumfeld besteht, auch wenn in Abb. K3-5 nicht deutlich abgebildet. Zwischen Lebensgemeinschaften der Quellfauna und Quellflur (Vegetation) und hydrologischen, physikalisch-chemischen, landnutzungsspezifischen sowie gewässerstrukturellen Faktoren gibt es vielfältige Beziehungen, die sich in Artzusammensetzung und Abundanz messen lassen. Ein integrativer Ansatz kann anhand der den ökologischen Komponenten spezifischen Untersuchungsmethoden ein Gesamtbild des ökologischen Zustandes kennzeichnen und bewerten. Es ist zu berücksichtigen, dass die Einzelfaktoren, die für die in Abb. K3-5 dargestellten Komponenten eine Auswahl nach Arbeitsaufwand, bezogen auf das räumlich-hierarchische System, bedeutet. Unter der Prämisse, komplexe Systeme nicht vollständig abbilden zu können und nicht alle Wechselwirkungen zu kennen, können aber besonders wichtige ökologisch wirksame Faktoren (*driver*) gefunden werden, die für Lebewesen im Gewässerlebensraum entscheidend sind, ein Habitat (Ort) und eine Nische (Funktion) zu besetzen. Hierbei ist ein integrierter Untersuchungsansatz für die ökologische Bewertung von Bedeutung, denn es lassen sich Arten und Lebensgemeinschaften als Zeiger (Bioindikatoren) bestimmter Umweltfaktoren kennzeichnen. Bewertung wird hierbei aufgefasst als Arbeitsschritt, der einen analysierten objektiven Sachverhalt (Landschaftsanalyse und Landschaftsdiagnose; vgl. Abb K3-1) entscheidungs- und handlungsorientiert interpretiert, um Empfehlungen für das (Gewässer-)Management abzuleiten: „Natural potentials/landscape functions characterize the capability and usability of a landscape in a broad sense. On the one hand, they encompass regulation and regeneration of single geofactors (and landscape compartments) and whole ecosystems (landscape complexes) as an entity and, on the other hand, the ability of landscape to satisfy needs and demands of human society“ (BASTIAN 2000:147). Unter dem Begriff des Leistungsvermögens (capability) soll hier das Naturraumpotential verstanden werden, das sich aus der



natürlichen Merkmalsausprägung von Quellen ableitet und das mit Hilfe von Landschaftsfunktionen belegt werden kann (BARSCH 1999b). Eine hier wesentlich herangezogene Funktion ist die Habitatfunktion, z.B. durch Analyse von Substrattypen (Vorkommen, Vielfalt, Bedeutung als Lebensraum) zur Einschätzung biotischer Diversität (BASTIAN & RÖDER 1998). Die ökologische Funktion ist dabei in der Regulation und Regeneration von Populationen und Biozönosen zu sehen (MANNSFELD 1999).

### 3.4 Regionalspezifisch-gewässertypologischer Ansatz

Der räumlich-hierarchische Ansatz (Kapitel 3.2) impliziert einen regionalspezifischen naturraumbezogenen Untersuchungsansatz. Quellen sind in der topologischen Dimension ein integraler Bestandteil von Landschaften in der nächst höheren, chorischen Dimension (vgl. Abb. K3-2). Naturraumfaktoren der chorischen Dimension (Mesoskala) wiederum, wirken sich bis zur Mikroskala aus und ermöglichen verallgemeinerbaren Klassifizierungen. Die Notwendigkeit eines regionalspezifischen Ansatzes besteht also vor allem in der Darstellung naturraumspezifischer Besonderheiten, d.h. in der Kennzeichnung regionaler Gewässertypen (MEHL & THIELE 1998). Die Beurteilung ökologischer Merkmale von Quellen wird demnach durch einen naturraumbezogenen Ansatz räumlich differenziert und kann somit sachlich konkretisiert werden. In der gewässerökologischen Forschung ist der regionalspezifisch-gewässertypologische Ansatz von Untersuchungsprogrammen vor allem vor dem Hintergrund von Bewertungsverfahren zur Gewässergüte sowie zur Umsetzung konkreter wasserwirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Maßnahmen zu sehen. Ziele und Anforderungen der Bewertung gehen über allgemeine Rahmenbeurteilungen hinaus, da genauere abzugrenzende Qualitätsanforderungen, Grenzwerte oder Leitbilder abgeleitet werden können. Als Beispiel kann das Rahmenbewertungsverfahren für Quellen angeführt werden (ANDREE, LISCHESKI UND TIMM 1995). Dieses Verfahren bewertet das Maß des Säuregehaltes im Quellwasser mit einem pH-Wert kleiner pH 2 und größer pH 12 als entsprechend negativ zur Kennzeichnung der Gewässergüte. Liegt der pH-Wert innerhalb eines Bereiches von pH 2 und pH 12 wird eine positive Bewertung vorgenommen und ein guter Zustand der Gewässergüte festgestellt. Aufgrund einer fehlenden naturräumlichen Konkretisierung, wie beispielsweise im Hohen Vogelsberg (Hessen) mit Grundwasserleitern in basaltischen Gesteinen, deren Quellwasser geogen zwischen pH 6 und pH 8 liegen, können somit regionalspezifisch untypische Gütemerkmale nicht hinreichend beurteilt werden (REISS 2002).

Eine regional konkretisierte Einordnung nach gewässerökologischen Kriterien ist demnach eine Typisierung. Der gewässertypologische Ansatz wird hier im Sinne einer „Unterscheidungslehre, die grundsätzliche und charakteristische Unterschiede unter den Gewässern in der Gegenüberstellung von verschiedenen Gewässertypen allgemeingültig zu formulieren versucht“ (OTTO 1991:25), aufgefasst. Die Klassifizierung ist entsprechend räumlich-inhaltlich, also regionalspezifisch zu differenzieren. Obwohl bereits im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts von NAUMANN (1932) als regionale Limnologie vorgestellt, ist ein integrativer ökologischer und regionalspezifischer Ansatz zur gewässertypologischen Differenzierung erst in den 1990er Jahren für Fließgewässer in Deutschland intensiviert worden (SOMMERHÄUSER & SCHUHMACHER 2003).

## 4. Methoden

Die Erfassung von Daten bezieht sich überwiegend auf eigenständig im Gelände erhobene naturraum- und gewässerbezogene Merkmale. Hierzu wurde ein standardisiertes und einheitliches Erfassungsverfahren mittels Kartierung (Erfassungsbögen) entwickelt. Damit sind die aufgenommenen Daten miteinander vergleichbar und systematisch auf die Datenhaltung (Archivierung) abgestimmt. Zusätzliche Daten wurden aus externen Informationsquellen wie Kartenwerken, Online-Informationssystemen, Datenbanken und der Literatur gewonnen und in die eigene Projektdatenhaltung überführt. Es wurden bestehende Methoden, soweit diese auf die gewässerspezifischen Bedingungen übertragbar erschienen, angewendet. Hier soll daher lediglich sehr kurz darauf eingegangen werden, da auf Literatur verwiesen werden kann. Methoden, die modifiziert oder weitestgehend als neu entwickelt anzusehen sind, werden ausführlicher dargestellt. In diesem Kapitel stehen die Fragen: „Was und wie wurde erfasst?“ im Vordergrund. Die Frage nach dem „warum?“ geht aus Kapitel 1 hervor, wird aber teilweise hier noch einmal aufgegriffen. Ein räumlich-funktionales Erfassungskonzept wird in Tab. K4-1 zusammenfassend dargestellt.

räumlicher Bereich	funktionaler Bereich		Parameter
Quelle (Eukrenal)	abiotisch	Physikalisch-chemische Vor-Ort-Analytik	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Organoleptik</li> <li>■ In-situ-Messungen: Wassertemperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und Sauerstoffsättigung</li> </ul>
		Hydrologisch-gewässertypologische Erfassung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Quellschüttung (Schätzung / Messung)</li> <li>■ Quelltyp (Austrittsform)</li> <li>■ Misch- (Unter-) und Sondertypen</li> <li>■ Quellanordnung</li> </ul>
		Erfassung hydromorphologischer Merkmale	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Form der Quellmulde</li> <li>■ Zustand und Gefährdungen der Gewässerstruktur</li> <li>■ Ökotope (Anteil Teillebensräume)</li> <li>■ Substrattypen</li> </ul>
	biotisch	Tierbeprobung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Probennahme Invertebraten</li> <li>■ Sichtkartierung (Amphibien)</li> </ul>
		Pflanzenkartierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ höhere Pflanzen der Quellflur</li> </ul>
Quellumfeld	abiotisch	Geländemorphographie	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lage der Quelle</li> <li>■ Geländeneigung</li> <li>■ Hangexposition</li> <li>■ Abflussrichtung</li> </ul>
		Landnutzungs- und Waldstrukturkartierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kronenschluss</li> <li>■ Waldform</li> <li>■ Biotope</li> <li>■ Rodungsflächen</li> </ul>
	biotisch	Pflanzenkartierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ dominierende Baumarten</li> </ul>
Quelleinzugsgebiet	Karten- und Informationssystemauswertung		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ geologischer Untergrund</li> </ul>

Tab. K4-1: Räumlich-funktionales Erfassungskonzept.

### 4.1 Erfassungsmethoden (Gelände)

Standortuntersuchungen basieren auf feldökologische Geländemethoden zur Kennzeichnung und Differenzierung unterschiedlicher unbelebter und belebter Bestandteile der Landschaft bzw. Ökosysteme (MÜLLER 1988). Deshalb werden im Folgenden abiotische und biotische Standortfaktoren unterschieden, wie sie sich aus den Kartierunterlagen (siehe Anhang) ergeben.

### 4.1.1 Abiotische Standortanalyse

Abiotische Standortfaktoren bilden die physische Umwelt (Lebensraum) eines Untersuchungsortes ab und können charakteristische Auswirkungen auf Fauna und Vegetationseinheiten haben sowie menschliche Beeinflussungen und Degradationen aufzeigen.

#### Lage- und Reliefkennzeichnung

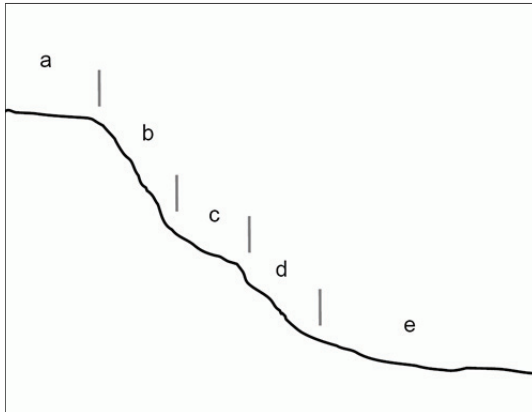


Abb. K4-1: Einteilung der Hangabschnitte. Erläuterung im Text. Eigene Darstellung

Eine Verortung der Quelle wird mit einem GPS-Gerät (Global Positioning System) und einer Überprüfung in einer topographischen Karte vorgenommen und notiert. Ein weiterer topographischer Parameter wird mittels einer Klassifizierung zur Lage der Quelle in a) Hochebene, Kuppe; b) Oberhang; c) Mittelhang; d) Unterhang; e) Aue, Tiefebene (vgl. Abb. K4-1) erhoben. Die Einteilung und Nomenklatur der Hangabschnitte erfolgt nach RICHTER (1962). Die Hangposition gibt Interpretationshinweise zum Schüttungsverhalten, da z.B. schwebende Grundwasserleiter in den Kuppen- und Oberhangbereichen an

Quellen austreten und im Sommer häufig trocken fallen (RICHTER & LILLICH 1975). Quellen in Unterhang- und Auenbereichen schütten meist kontinuierlich, da hier größere, zusammenhängende Grundwasserleiter vorherrschen. Ein weiteres Reliefmerkmal, das zur Plausibilitätsprüfung und zur Begründung von Quelltypen relevant erscheint, ist die Geländeneigung (Schrägstellung, Gefälle des Hangs). Die Hangneigung wird mit einem Inklinometer (Gefällsmesser) in Grad (Angaben in Altgon) gemessen. Die Einteilung der Hangneigungsklassen (Tab. K4-2) erfolgt unter Berücksichtigung der Verhältnisse im Mittelgebirge nach DIKAU, FRIEDRICH & LESER (1999). Das Gefälle bestimmt in entscheidendem Maße die Austrittsart des Grundwassers an die Erdoberfläche und steht in direkter Beziehung zur Kennzeichnung limnologischer Quelltypen (z.B. Rheokrene mit schießendem Wasser oder Helokrene mit kaum festzustellender Wasserbewegung). Weitere topographische Erfassungsparemeter sind die mit Hilfe eines Kompasses sowie der Überprüfung in topographischen Karten zu erhebende Hangexposition, die Abflussrichtung des Quellbachs sowie die Höhenlage (Meter über Normalnull; mNN). Daneben wird die Lagesituation der Quelle anhand markanter Geländepunkte in einer Handskizze festgehalten sowie eine Fotodokumentation vorgenommen.

Geländeneigung	Hangneigung in Grad (Altgon)
schwach	0-2°
mäßig	2-7°
stark	7-15°
schröff	>15°

Tab. K4-2: Klassifizierung der Geländeneigung nach DIKAU, FRIEDRICH & LESER (1999)

**Vor-Ort-Analytik (chemisch-physikalische In-Situ-Messungen)**

Direktmessungen am unmittelbaren Untersuchungsort (in situ) sind mit Messgeräten der Firmen Eutech Instruments für den pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit, WTW Multiline P4 mit der Sonde Cellox 325 für den Sauerstoffgehalt und die Sauerstoffsättigung sowie einem Digitalthermometer der Firma Greisinger für die Luft- und Wassertemperatur vorgenommen worden. Als Messpunkt in der Quelle wird die Stelle im Eukrenal gewählt, wo ein erster Wasseraustritt erkennbar ist. Die Erhebung der Vor-Ort-Parameter Wassertemperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und des gelösten Sauerstoffs erfolgt nach DIN (Tab. K4-3).

<b>Vor-Ort-Parameter</b>	<b>Verfahren</b>
Wassertemperatur	DIN 38404-4
pH-Wert	DIN 38404-5
elektrische Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	DIN 38404-8
Sauerstoffgehalt (inkl. Sättigung)	DIN 38408; elektrometrische Methode

Tab. K4-3: Verfahren zur Direktmessung

Zur weiteren Einschätzung möglicher Belastungen der Wassergüte wurde eine organoleptische Prüfung der Parameter Geruch, Geschmack, Färbung und Trübung durchgeführt. Aufgrund des zu erwartenden hohen Arbeitsaufwandes zur Probenahme und Bestimmung der Fauna wurde auf eine umfangreiche Wasserprobenahme zur genaueren chemischen Bestimmung einzelner Inhaltsstoffe verzichtet. Außerdem hat die Verwendung von Teststreifen (Analysestäbchen), also eine halbquantitative, visuelle Vor-Ort-Methode während der Erprobungsphase nie eine Reaktion (Verfärbung) gezeigt, so dass der Materialaufwand für die überwiegend als oligotroph zu erwartenden Quellen als ineffektiv eingeschätzt wurde. Der Summenparameter elektrische Leitfähigkeit wird deshalb zumindest als Zeiger möglicher Belastungen angesehen (KLEE 1998).

Die Messungen der Vor-Ort-Analytik konnten mit nur jeweils einer Messung an einer Quelle zu unterschiedlichen Zeiten (Februar, März, Mai, Juni, Juli, August, September) vorgenommen werden (Tab. K4-4). Allerdings wurden die meisten Messungen zum Trockenwetterabfluss vorgenommen, so dass die überwiegende Anzahl der Werte einen grundwasserbürtigen Abfluss bzw. eine Quellschüttung mit vorherrschendem Basisabfluss charakterisieren.

<b>Monat</b>	<b>Messungen (jeweils eine Quelle)</b>
Februar	9
März	21
Mai	13
Juni	28
Juli	28
August	50
September	3

Tab. K4-4: Messungszeitraum der Vor-Ort-Analytik



### Hydrologisch-gewässertypologische Kennzeichnung

Zur Ermittlung der Schüttungsmenge der Quellen wurden zwei Methoden angewendet: a) Direktmessung (Gefäß- oder Behältermessung); b) Schätzmethode. Gefäßmessungen wurden nach LAWA (1995) durchgeführt, wobei ein 100 ml Messzylinder benutzt wurde. An den bemessenen Quellen wurde drei Messdurchgänge vorgenommen und aus den Ergebnissen das arithmetische Mittel in Liter pro Sekunde errechnet. Zur Schätzung der Schüttung wurde eine vereinfachte Kategorisierung von DOERPINGHAUS (2003) gewählt, die auf der Methode von BEIERKUHNLEIN & GRÄSLE (1993) basiert (Tab. K4-5).

Schüttungskategorie	Beschreibung nach BEIERKUHNLEIN & GRÄSLE 1993	Mittelwert <sup>1</sup>
keine, stehendes Wasser	oberflächliche Wasserbewegung nicht zu erkennen; Wasserfläche reicht zur Beprobung für die Vor-Ort-Analytik; Schüttung < 0,05 l/s	0,02 l/s
gering	sehr geringe oberflächliche Wasserbewegung zu erkennen; ca. 0,05 l/s	0,05 l/s
deutlich quellend	deutliche oberflächliche Wasserbewegung zu erkennen; 0,2 l/s bis 0,5 l/s	0,35 l/s
stark, schießend	sehr starke oberflächliche Wasserbewegung zu erkennen; ≥ 1,0 l/s	1,0 l/s

Tab. K4-5: Klassifizierung der Schüttung nach Schätzung. <sup>1</sup> Mittelwert zur Transformation in ordinal skalierte Werte (zur statistischen Auswertung)

Quellen, an denen eine Direktmessung möglich war, wurde auch die Schätzmethode angewandt, um die Angaben der Schüttung zu überprüfen. Hierbei konnte festgestellt werden, dass die Mengenangaben nach BEIERKUHNLEIN & GRÄSLE 1993 verlässliche Näherungswerte sind und die Schätzung als qualitative Einstufung ausreichend erscheint. Zur Plausibilitätsprüfung wird zudem der Strömungstyp (turbulente oder laminare Strömung) notiert. Zur Einschätzung dient das Strömungsbild, d.h. bei einer laminaren Strömung bewegen sich die Flüssigkeitsteilchen nebeneinander auf getrennten Bahnen ohne sich zu durchmischen und bei einer turbulenten Strömung findet eine Durchmischung oder Verwirbelung statt (SCHMIDT 1993). Die Einschätzung der Schüttungsdauer ist bei einem einmaligen Untersuchungsturnus pro Quelle nicht sinnvoll.

Zur Kennzeichnung des gesamten Eukrenal sind kategorisierte Vorgaben nach den Parametern Quelltyp (Helo-, Rheo- und Limnokrene, gefasste Quelle, Mischtyp), Sondertyp (Thermal-, Sol-, Eisenocker-, Kalktuff- und Blockschuttquelle sowie Sonstige), Quelltyp nach Umfeld (Wald, Waldrand, Lichtung, Feldgehölz), Anordnung (Einzelquelle, Quellgruppe, diffuser Austritt, Sonstiges) und Quellmorphologie (Quellmulde mit deutlicher Eintiefung, Quellmulde im Ansatz, keine Quellmulde) zu benennen. Angaben zur Arealgröße ergänzen die Charakterisierung des Quelltyps, wobei hier trotz der Abgrenzungsschwierigkeiten (Ökoton) im Gelände Kriterien der Geländemorphologie und der Ausprägung der Quellflur zur Ausweisung des Hydrotops hilfreich sind (BOHLE 1995). Anhaltspunkt ist die Berücksichtigung von Erfahrungswerten für die Größe von Aufnahmeflächen in der Pflanzensoziologie, die für Quellfluren mit bis zu 5 m<sup>2</sup> angegeben wird (DIERSCHKE 1994). Allerdings wurde darauf geachtet, einen repräsentativen Randbereich der terrestrisch-hygrophilen Fauna einzubeziehen.

### Substratkartierung und Gewässermorphologie

Die Erfassungsmethodik zur Substratkartierung in Verbindung mit der Probenahme der Fauna (Multi-Habitat-Sampling) ist ein neuer methodischer Ansatz zur Analyse gewässermorphologischer Kleinstrukturen und der substratspezifischen Kennzeichnung der Fauna in Quellgewässern als Grenzlebensraum (Ökoton): „Every ecotone being a complex of microhabitats, sampling has to be performed using tools adapted to every microhabitat type“ (GUIDICELLI & BOURNAUD 1997:143). Das grundlegende Prinzip der Substraterfassung (Substrattyp und Repräsentativität) in Kombination mit der Faunabeprobung ist dem *Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern auf Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrichtlinie* für durchwatbare Bäche und Flüsse (= mit Wathose begehbare Gewässersohle) (MEIER ET AL. 2006), in der gewässerökologischen Praxis häufig als *AQEM/STAR-Verfahren* bezeichnet, entlehnt. Identisch ist die methodische Herangehensweise zur Festlegung von Mikrohabitaten, d.h. die vorkommenden Substrate am Probenahmeort werden nach ihrem Deckungsgrad in der horizontalen Flächenerstreckung innerhalb einer festgelegten Bezugsfläche in 5%-Stufen eingeschätzt. Allerdings wurde das Verfahren grundlegend geändert, um es auf die Kleinräumigkeit und Gewässertypsituation anzupassen. Zum einen bedeutet die Kleinräumigkeit des Eukrenals, dass bereits von einem Punkt im Gelände aus der Kartierende ein gut überschaubares Areal (wenige m<sup>2</sup>) detailliert erfassen kann. Zum anderen ist der Faktor Strömung und Wassertiefe im Gegensatz zu Fließgewässern mit breiterer Gewässersohle vernachlässigbar. Außerdem sind bestimmte Substrate wie Abwasserbakterien und -pilze (Sapropel) oder Debris (meist Molluskenschalen des Uferbereichs von Flüssen) nicht zu erwarten, so dass die Auswahl an Substrattypen an die Verhältnisse von Quellen anzupassen war. Hierbei konnte auf eine eigene mehrjährige Kartierpraxis sowie auf das Rahmenkartierverfahren der Landesanstalt für Ökologie, Landesentwicklung und Forstplanung in Nordrhein-Westfalen (LISCHEWSKI & LAUKÖTTER 1993) zurückgegriffen werden. Eine Darstelllung der Substrattypen zeigen die Tabellen K4-6 für mineralische Substrate und Tab. K4-7 für organische Substrate.

Mineralische Substrate	Beschreibung	Korngröße <sup>1</sup>
Argyllal	Feinkörniges, bindiges, meist verfestigtes mineralisches Material (Ton, Schluff)	< 6 µm
Psammal	Feinkörniges, mineralisches Material (Sand)	6 µm – 0,2 cm
Psammopelal	Feinkörniges, mineralisches unverfestigtes Material (Lehm, Schlamm)	< 6 µm – 0,2 cm
Akal	Fein- bis Mittelkies	>0,2 cm – 2 cm
Mikrolithal	Grobkies (taubenei- bis kinderfaustgroß) mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen	>2 cm – 6 cm
Mesolithal	Steine (faustgroß) mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen	>6 cm – 20 cm
Makrolithal	Steine (kopfgroß) mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen	>20 cm – 40 cm
Megalithal	Oberseite großer Steine/Blöcke, anstehender Fels	>40 cm
Offener Verbau	Künstliche Substrate mit Substratauf- lage (teilweise Quellfassung)	-
Geschlossener Verbau	Künstliche Substrate (komplette Quell- fassung)	-

Tab. K4-6: Nomenklatur und Einteilung der mineralischen Substrate nach BRAUKMANN (1987), MOOG & GRASSER (1992). 1) Die Einteilung weicht von der KA 5 (AG BODEN 2005) ab

Organische Substrate	Beschreibung
Makrophyten, emers	Krautige, nicht verholzte Pflanzen (z.B. Hochstauden, Gräser) der semiaquatischen und terrestrischen (Rand)-Bereiche; Helophyten
Makrophyten, submers	Unter-Wasserpflanzen (Hydrophyten), die im Quellgewässer-Benthos wurzeln oder Schwimmblattpflanzen (z.B. <i>Callitriche</i> , <i>Lemna</i> )
Moospolster	Moose, die zusammenhängende Bestände bilden
Durchspülte Feinwurzeln	Feinwurzeln, die vom Wasser umspült werden
Xylal	Totholz (Stämmlinge, Äste, Geniste)
CPOM	Grobpartikuläres org. Material (Pflanzliche Substrate, z.B. Falllaub)
Nadelstreu	Herabgefallene Nadeln von Koniferen
FPOM	Feinpartikuläres org. Material (Feindetritus)
Algen	Filamentöse Algen, Algenbüschel

Tab. K4-7: Nomenklatur und Einteilung der organischen Substrate nach MEIER ET AL. (2006)

Die Möglichkeit, Quellen sehr kleinräumig zu überblicken, führte zu der Überlegung, die mineralische „Grundschicht“, also die Bodenoberfläche, getrennt von der organischen Auflageschicht zu betrachten (hier als 2-Schichten-Ansatz bezeichnet; vgl. Abb. K4-2), um eine detaillierte Untersuchung zu ermöglichen, den der Ansatz nach MEIER ET AL. (2006) aufgrund des geringeren Maßstabs (höhere Raumskala) generalisiert.

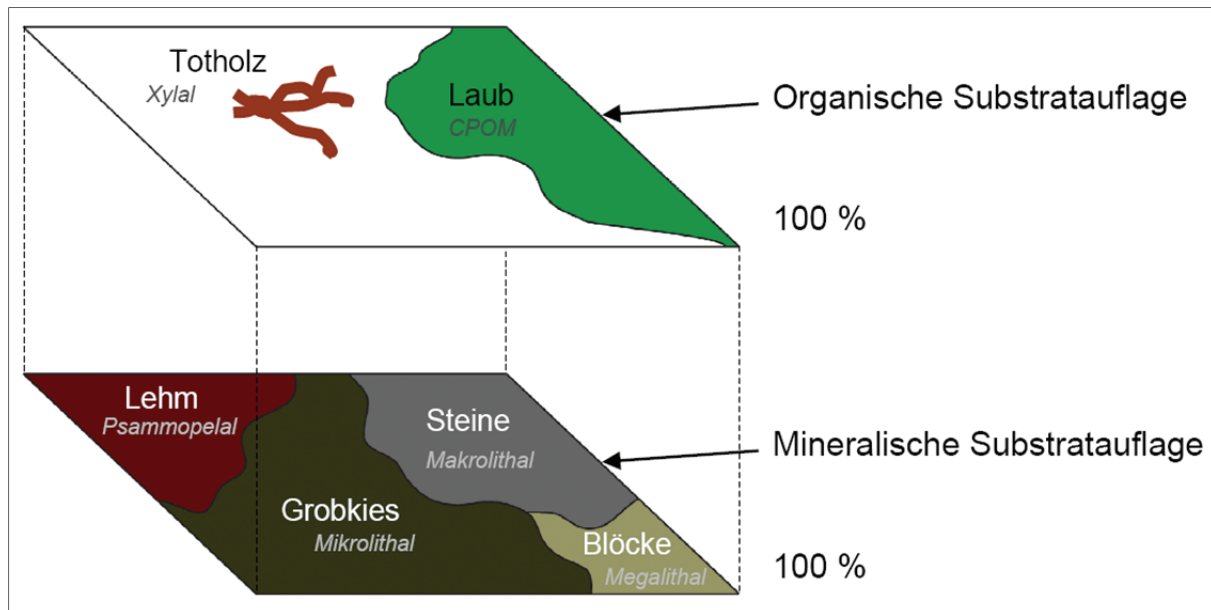


Abb. K4-2: 2-Schicht-Ansatz des Multi-Habitat-Samplings. Eigene Darstellung

Der Vorteil besteht darin, dass eine getrennte Analyse der Auflageschichten in mineralische und organische Substratschicht mit einer Bezugsfläche gleich 100% gesetzt wird und somit die Besiedlung durch die Fauna (Kapitel 4.1.2.2) jeweils im Flächenbezug komplett und repräsentativ erfasst wird. Außerdem besteht nach wie vor die Option, aus den getrennt erfassten zwei Schichten eine zu analysierende Schicht zu aggregieren, in dem die überdeckende organische Schicht zusammen mit der mineralischen Schicht gleich 100%-Bezugsfläche gesetzt wird. So gesehen besteht die Flexibilität, dieses Erfassungsverfahren für eine vereinfachte Bewertung zu nutzen bzw. eine Vergleichbarkeit zwischen den Gewässertypen (Quelle, Bach- und Flussabschnitte) methodisch zu gewährleisten. Zur Beurteilung der Deckungsgrade wurden bestehende Schätztafeln genutzt (DEMEL & HAUENSTEIN 2005, AG FORSTEINRICHTUNG 1996, MÜHLENBERG 1993). In der in Abb. K4-2 dargestellten Beispiel wird der Flächenanteil der mineralischen Substratauflage in 5%-Stufen abgeschätzt (Psammopelal: 20%, Mikrolithal: 40%, Makrolithal: 25%, Megalithal: 15% = Gesamt: 100%). Das überdeckende organische Substrat, z.B. Falllaub, kann problemlos temporär aufgenommen werden, um die darunterliegende Bodenoberfläche einzusehen. Danach wird die Schicht der organischen Substrate entsprechend in 5%-Stufen abgeschätzt (Beispiel Abb. K4-2: Xylal: 10%, CPOM: 35%, Ohne Auflage: 55% = Gesamt: 100%). Unterrepräsentierte Substrate mit weniger als 5%-Deckungsgrad werden ebenfalls erfasst, deren Flächenanteil allerdings nicht weiter abgeschätzt.

Die Kartierung der Substrate erfolgt zudem mit einem Vermerk, in welchen Teillebensräumen (aquatisch, hygropetratisch, amphibisch/terrestrisch) die Substrate vorkommen (Dominanz; vgl. Abb. K4-3). Außerdem ist anzugeben, wie das Verhältnis zwischen Fein- zu Grobmaterial des mineralischen Substrats vorliegt und in wie weit das Feinsubstrat in Sand und Ton/Schluff aufgetrennt oder nicht getrennt (Lehm, Schlamm) ist. Auch das Verhältnis von aquatischen und amphibisch/terrestrischen Bereichen soll bezogen auf die definierte Untersuchungsfläche festgehalten werden. Ferner soll vermerkt werden, ob der hygropetrische Bereich deutlich oder gering ausgeprägt ist. Nach Durchzählung aller vorkommenden Substrate wird die Anzahl der Substrattypen angekreuzt. Zur direkten Kennzeichnung der Substratvielfalt im Kartierbogen, werden alle vorkommenden Substrate gezählt und die Anzahl der Substrattypen eingetragen. Bemerkungen zu den einzelnen Substrattypen, z.B. zur Auflagemächtigkeit oder dem Zersetzungsgrad (z.B. beim Falllaub oder Totholz)



können qualitative Einschätzungen zur späteren Interpretation der Ergebnisse (insbesondere Fauna) liefern und wurden zusätzlich notiert (Abb. K4-3).

Zur Quantifizierung und zur Vergleichbarkeit der Substrattypen wurden die Substratdeckungsgrade aus der Kartierung klassifiziert (in Anlehnung an ORENDT & SCHLIEF 1999). Hierzu wurden jeweils ab der ersten 5%-Stufe jeweils fünf 5%-Stufen zu einer Klasse aggregiert. Aus den jeweiligen Deckungsgraden (5%-Stufen) einer Klasse wurde das arithmetische Mittel gebildet, welches den mittleren Deckungsgrad der entsprechenden Klasse repräsentiert (Tab. K4-8). Mit dieser Klassifizierung oder Transformation lassen sich metrisch basierte statistische Auswertungen vornehmen (vgl. BEISEL ET AL. 1998).

<b>Deckungsgrade (5%-Stufen)</b>	<b>Klasse (Vorkommen)</b>	<b>Mittlere Deckungsgrade</b>
<5%	1 (selten)	2,5%
5%-25%	2 (gering)	15%
30%-50%	3 (bedeutend)	40%
55%-75%	4 (aspektbildend)	65%
80%-100%	5 (dominierend)	90%

Tab. K4-8: Transformation und Klassifikation der mittleren Deckungsgrade der Substrate

<b>Beeinträchtigung der Gewässerstruktur</b>	<b>Beschreibung</b>
Nutzung	Menschliche Ressourcennutzung wie (Trink- oder Lösch-) Wasserentnahme, Fischzucht, Viehtränke, Kurzwecke, Wandertourismus (Tretbecken) etc.
Einleitung	Technische Einleitungen durch Gräben, Drainagen, Rohren etc. (Abwasser, Oberflächenwasser), landwirtschaftliche Einleitungen etc.
Verfüllung	Künstliche Verfüllungen mit standortfremden Substraten (Oberboden, Bauschutt, Abfälle, Müll, Schnittgut)
Veränderungen	Technische Veränderungen natürlicher Gewässerstrukturen wie Verlegung, Ausräumung, Verrohrung etc.
Verbau	Genauere Kennzeichnung der technischen Veränderung / des Verbaus, z.B. Steinschüttung, Trockenmauer, Beton- / Zementbauweise, Schächte etc.
Trittschäden	Vertritt von Vieh, Wild oder Mensch
Fahrspuren	Fahrzeugspuren aus Forstbetrieb etc.
Rodung	Einzelstammentnahmen, Flächenkahlschlag im unmittelbaren Quellbereich
Wanderbarrieren	Technisch bedingte Wanderbarrieren wie Sohlabstürze, Abstürze durch Verrohrungen (Migration des Zoobenthos), jegliche Hindernisse im natürlichen Fließkontinuum

Tab. K4-9: Gefährdungsparameter der Gewässermorphologie. Nach REISS (2002), LISCHEWSKI & LAUKÖTTER (1993)

Beeinträchtigungen und mögliche Gefährdungen der Gewässermorphologie werden durch Vorgabe bestimmter Faktoren (Tab. K4-9) und deren flächenbezogene Ausdehnung angegeben.

Angaben zur Nähe von Verkehrswegen und Gebäuden können näher deskriptiv beschrieben werden und in drei Kategorien (bis 20m, bis 50m, bis 100m Entfernung) angegeben werden. Außer Sichtweite befindliche Verkehrswege und Gebäude werden nicht erfasst. Die Angaben sollen mögliche Beeinträchtigungen abschätzen, die durch indirekte Wirkungen verkehrstechnischer Anlagen (Wege, Plätze, etc.) zu beurteilen. Zum einen können dies Stoffeinträge sein, die sich z.B. aus der Verkehrssicherung im Winter durch Streudienste (Auftausalze) ergeben, zum anderen kann ein ungehinderter Zugang zum Quellbereich ermöglicht werden (Tritt- oder Fahrspurschäden, Ablagerungen, Absammeln von Pflanzen und Tieren, etc.). Der natürliche Abfluss der Quelle kann durch technische Maßnahmen aufgestaut werden, was hydrologische und damit physikalisch-chemische Veränderungen verursacht und somit Auswirkungen auf die Besiedlung hat. Deshalb wird dieser Beeinträchtigungsparameter, mit der Unterscheidung in vollständigen oder teilweisen Aufstau, erfasst.

#### **4.1.2 Biotische Standortanalyse**

Die biotischen Komponenten der Standortanalyse sind lebende Organismen, die als Lebewesen den Lebensraum (abiotische Standortanalyse) besiedeln. Hierbei werden Pflanzen und Tiere sowie deren Lebensgemeinschaften betrachtet. Krautige, höhere Pflanzen sowie die Vegetation der Quellflur sind hierbei Untersuchungsgegenstand. Schwerpunkt der Fauna-Untersuchung sind wirbellose Tiere (Invertebraten), d.h. neben der aquatischen Fauna (Makro- und Meiofauna), auch Wirbellose der amphibischen und terrestrisch hygrophilen Ökotope, soweit sie als Makrofauna methodisch bedingt absammelbar ist (z.B. von Totholz, Pflanzen). Faunistisch geht die Standortanalyse über das aquatische Makrozoobenthos hinaus, da dadurch nur ein Teil des Ökotoes betrachtet wird.

##### **Vegetationskartierung (Quellflur)**

Vegetationsaufnahmen erfolgten nach der Braun-Blanquet-Methode (BRAUN-BLANQUET 1964, DIERSCHKE 1994). Mindestareale von Quellfluren betragen bis zu 5 m<sup>2</sup>, doch sind Flächen von 1 bis 2 m<sup>2</sup> Größe an stark beschatteten Waldquellen mit moosreichen Quellfluren häufig (DOERPINGHAUS 2003). Die Einteilung der Deckungsgrade als Schätzmethode beruht auf WILMANN (1998) und ist Tab. K4-10 wiedergegeben.

Artmächtigkeit (Code)	Deckungsgrad (%)
r	1 Individuum, Deckungsgrad $\leq 5\%$
+	2-5 Individuen, Deckungsgrad $\leq 5\%$
1	6-50 Individuen, Deckungsgrad $\leq 5\%$
2m	>50 Individuen, Deckungsgrad $\leq 5\%$
2a	Individuenzahl beliebig, Deckungsgrad > 5 - 15%
2b	Individuenzahl beliebig, Deckungsgrad > 15 - 25%
3	Individuenzahl beliebig, Deckungsgrad > 25 - 50%
4	Individuenzahl beliebig, Deckungsgrad > 50 - 75%
5	Individuenzahl beliebig, Deckungsgrad > 75 - 100%

Tab. K4-10: Einteilung der Deckungsgrade und Artmächtigkeiten der Vegetation. Nach WILMANN (1998)

Erfasst wurden höhere, krautige Pflanzen der Quellflur unmittelbar am Wuchsort, soweit Taxa zu determinieren waren und insofern mindestens das Gattungsniveau erreicht werden konnte. Die Nomenklatur und Bestimmung der Arten und Gattungen richtet sich nach der *Exkursionsflora von Deutschland* (ROTHMALER 2000). Farne und Moose wurden größtenteils nicht näher bestimmt.

### Beprobung, Konservierung und Determination der Fauna

Die Beprobung der Fauna steht in Abhängigkeit zum Mikrohabitat und zu den Teillebensräumen des Eukrenal. Die aquatische Benthosfauna wird mit einem Handkescher unmittelbar aus dem Substrat der Gewässersohle aufgesammelt. Dabei entspricht die Probenfläche mit 100 cm<sup>2</sup> der Kescherfläche. Das Fangnetz des Keschers hat eine Maschenweite von 100 µm, so dass auch Benthosarten der Meiofauna (Organismen zwischen 0,30 mm und 1 mm Größe; GIERE 2009) beprobt werden können. Der Kescher ist eine Anfertigung für spezielle biospeläologische Beprobungen von Kleinhabitaten und wurde im Referat Material, Ausrüstung und Technik des Landesverbandes für Höhlen- und Karstforschung Hessen e.V. von Udo Kaiser angefertigt. Grobes mineralisches Material (Mikro- bis Megalithal), emerse Makrophyten, Moospolster, Totholz (Xylal), CPOM muss entsprechend per Handauflesungen mittels Federstahlpinzette erfolgen, wobei der Substratgröße entsprechend Materialaufnahmen in Weißschalen sowie in-situ-Absammlungen erfolgten (PIECHOCKI & HÄNDEL 2007) (vgl. Tab. K4-11).

Substrat	Probenahme im Einzelfall
Argyllal, Psammal, Psammopelal, submerse Makrophyten	Kescher
Akal, Nadelstreu	Kescher, Weißschale (Durchsicht)
Mikrolithal, Mesolithal, Moospolster, Xylal, CPOM (insb. Laub)	Handaufsammlung (Pinzette), Weißschale (Durchsicht)
Makrolithal, Megalithal	in-situ-Aufsammlungen (Pinzette)

Tab. K4-11: Übersicht zur Probenahme-Methode im Einzelfall (substratabhängige Probenahme)

Die Beprobung der Fauna erfolgt im Multi-Habitat-Sampling gekoppelt mit der Substratkartierung. Es werden jeweils die Schichten der organischen und mineralischen Substrate getrennt voneinander untersucht (2-Schichten-Ansatz). Hierzu wird eine Beprobung pro 5%-Deckungsgrad-Stufe vorgenommen, d.h. eine substratabhängige Probenahme (vgl. Tab. K4-11) für jeweils 2 Minuten pro 5%-Stufe. Für flächenhafte Substrate, insbesondere für die mineralischen Substrate ist hierbei die Bezugsfläche 10 cm auf 10 cm, entsprechend der Fangnetzkonfiguration des Keschers. Die Fauna-Beprobung ist somit proportional zum Vorkommen der Substrate, d.h. je höher die Flächenrepräsentanz (Deckungsgrad), umso mehr wird der Substrattyp anhand unterschiedlicher und mehrerer Untersuchungspunkte (Teilprobe) faunistisch beprobt (eine 5%-Stufe = 1 Untersuchungspunkt; 100% = 20 Untersuchungspunkte getrennt nach mineralischer = 100% und organischer Schicht = 100%). Die Bezeichnung *Teilprobe* ist nicht im Sinne des AQEM/STAR-Verfahrens (MEIER ET AL. 2006) zu verstehen, da eine Teilprobe ein Probendöschen und damit einen Substrattyp repräsentiert. Bei hohen Deckungsgraden und hohen Abundanzen werden jedoch auch mehrere Probendöschen zur Konservierung notwendig. Unterrepräsentierte Substrate (< 5% Deckungsgrad) können zu einer Mischprobe zusammengeführt werden, wobei hier je Substrat nur eine 1-minütige Absammlung erfolgt.

Substrate – Multi-Habitat-Sampling																
Substratvielfalt (= Anzahl Substrattypen):																
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
gering				mittel				hoch								
Sichtbare, oberste Substratauflage (SA) – Deckungsgrad (DG) – 100% = Arealgröße Quellbereich – PD: Probendose																
<input type="checkbox"/> Feinsubstrat trennbar in Sand und Ton/Schluff (1) <input checked="" type="checkbox"/> Feinsubstrat nicht trennbar (= Lehm / Schlamm) (2) Verhältnis Fein- zu Grobmaterial (Dominanz): <b>20 : 80</b> Verhältnis aquatisch (a) : semiaquatisch (b): <b>30 : 70</b> Kornverteilung: <input type="checkbox"/> > Gemenge <input type="checkbox"/> > Sortierung / hydropetr. Bereiche (c): <input checked="" type="checkbox"/> gering <input type="checkbox"/> deutlich / <input type="checkbox"/> Diatomeen sichtbar																
<b>Mineralische Substrate</b>																
	0 %	< 5 %	DG in 5%-Stufen	Anzahl TP	Probenbeschriftung	PD 1	PD 2	dominant in a	dominant in b	dominant in c	Bemerkung					
Argyllal (Ton, Schluff)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			Objekt-Nr. – TP 01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	z.B. Mächtigkeit, Durchmischung					
Psammal (Sand)	<input checked="" type="checkbox"/>				Objekt-Nr. – TP 02											
Psammopelal (Lehm)			<b>20</b>	<b>4</b>	Objekt-Nr. – TP 03		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
Akal (Fein, Mittelkies)	<input checked="" type="checkbox"/>				Objekt-Nr. – TP 04											
Mikrolithal (Grobkies)			<b>40</b>	<b>8</b>	Objekt-Nr. – TP 05		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>							
Mesolithal	<input checked="" type="checkbox"/>				Objekt-Nr. – TP 06											
Makrolithal			<b>25</b>	<b>5</b>	Objekt-Nr. – TP 07		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>							
Megalithal			<b>15</b>	<b>3</b>	Objekt-Nr. – TP 08		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>							
Offener Verbau	<input checked="" type="checkbox"/>				Objekt-Nr. – TP 09											
Geschlossener Verbau	<input checked="" type="checkbox"/>				Objekt-Nr. – TP 10											
Mischprobe (< 5 %)		<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Σ</b>													
			<b>100 %</b>	<b>20</b>												
<b>Organische Substrate</b>																
	0 %	< 5 %	DG in 5%-Stufen	Anzahl TP	Probenbeschriftung	PD	dominant in a	dominant in b	dominant in c	Bemerkung						
		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mächtigkeit, Durchmischung, etc.						
Makrophyten, emers	<input checked="" type="checkbox"/>				Objekt-Nr. – TP 11											
Makrophyten, submers	<input checked="" type="checkbox"/>				Objekt-Nr. – TP 12											
Moospolster		<input checked="" type="checkbox"/>			Objekt-Nr. – TP 13					nur auf Xylal						
Durchspülte Feinwurzeln	<input checked="" type="checkbox"/>				Objekt-Nr. – TP 14											
Xylal			<b>10</b>	<b>2</b>	Objekt-Nr. – TP 15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			morsche Stämmlinge						
CPOM, Falllaub			<b>35</b>	<b>7</b>	Objekt-Nr. – TP 16	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		2 cm, wenig zersetzt (Rohhumus)						
Nadelstreu	<input checked="" type="checkbox"/>				Objekt-Nr. – TP 17											
FPOM		<input checked="" type="checkbox"/>			Objekt-Nr. – TP 18					auf:						
Algen	<input checked="" type="checkbox"/>				Objekt-Nr. – TP 19											
Ohne Auflage			<b>55</b>	<b>(11)</b>												
Mischprobe (< 5 %)		<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Σ</b>		Objekt-Nr. – TP 20											
			<b>100 %</b>	<b>20</b>												
Megalithal > 40 cm Makrolithal > 20 cm – 40 cm Mesolithal > 5 cm – 20 cm Mikrolithal > 2 cm – 5 cm Akal > 0,2 cm – 2 cm Psammal/Psammopelal > 0,2 cm – 0,2 cm										Oberseite großer Steine/Blöcke, anstehender Fels kopfgroße Steine, mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen faustgroße Steine, mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen Grobkies = taubenei- bis kinderfaustgroß, mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen Fein- und Mittelkies Sand und/oder (mineralischer) Schlamm						
Σ PD:										<b>6</b>						

Abb. K4-3: Ausschnitt aus dem Kartierbogen zur Substratkartierung (Beispiel-Situation in Abb. K4-2). Erläuterungen der Abkürzungen im Kartierbogen. Eigene Darstellung



Abb. K4-3 zeigt ein Beispiel (vgl. Abb. K4-2) wie viele Untersuchungspunkte (TP = Teilproben) je Deckungsgrad Substrattyp beprobt werden. Der dominierende mineralische Substrattyp ist Grobkies (Mikrolithal) mit 40 % Deckungsgrad, was zu einer Kescherbeprobung an 8 unterschiedlichen Untersuchungspunkten zu je 2 Minuten Durchsicht und Aufsammlung in der Weißschale (insgesamt 16 Minuten) führt. Insgesamt werden 6 repräsentative Substrate beprobt und in entsprechend 6 Probendöschen verteilt. Der Zeitaufwand für die Fauna-Aufsammlung beträgt bei der hier vorliegenden Substratvielfalt insgesamt bei 58 Minuten (insgesamt 29 untersuchte Teilproben; 11 Teilproben ohne organische Substratauflage werden eingerechnet). Die Konservierung der Fauna fand mit nicht verdünntem, mindestens 90%igen Ethanol-Alkohol statt. Das ist für die Bestimmung einzelner Taxa nicht optimal (PIECHOCKI & HÄNDEL 2007), wurde aber aus Gründen des Arbeits- und Kostenaufwands vorgezogen. Allerdings sind weitergehende (potentielle, externe) genetische Untersuchungen damit möglich. Die Proben wurden in bereits mit Konservierungsflüssigkeit gefüllten 6 ml-Wheaton-Szintillationsdöschen (High Density Polyethylen mit Schraubverschluss) der Firma NeoLab überführt. Für die anschließende Bestimmung und sichere Probenbeschriftung empfiehlt sich, neben der Beschriftung des Deckels, einen kleinen Papierstreifen in das Probendöschen zu legen, der mit Graphitstift („Bleistift“) beschriftet die Probenbeschriftung enthält. Als Beschriftungsschema wurden die Proben nach Projektgebiet und fortlaufender Nummer beschriftet (KW: Kellerwald; BW: Burgwald; Kro: Krofdorfer Forst; NH: Niddahänge, Vogelsberg; St: Schafstein, Rhön; H: Hainich). Die Nummerierung ist fortlaufend (z.B. KW-1, KW-2, etc.) und enthält die Bezeichnung des Substrattyps, nach einem vereinfachten Schlüssel (TP = „Teilprobe“, gefolgt von der Nummerierung): Objekt Nummer - TP 1 bis 20 (z.B. „KW-1 TP3“ = Kellerwaldprobenstelle 1, Psammopelal) (siehe Kartierbogen im Anhang).

Die Determination der Fauna konnte nicht im vollen Umfang in Eigenleistung erfolgen, da die taxonomische Anforderung für Quell-Ökotone aufgrund der Quantität unterschiedlicher Taxa sehr hoch ist und zudem aquatische und terrestrische Wirbellose umfasst. Eine adäquate Vorbestimmung und Vorsortierung der Taxa wurde jedoch durchgeführt. Nicht weiter zu bestimmende Gruppen wurden (und werden auch im Nachgang dieses Projektes) von entsprechenden Taxonomen extern bestimmt. In Eigenleistung wurden Tiere und Insektenlarven der in Tab. K4-12 aufgeführten Taxa determiniert. Darüber hinaus fand eine Gegenbestimmung beim Biospeläologischen Kataster von Hessen im Landesverband für Höhlen- und Karstforschung in Hessen e.V. durch Stefan Zaenker (Fulda) statt. So konnten zum Teil taxonomisch kritische Arten, die vor allem Schwierigkeiten der morphologisch-basierten Determination in Eigenleistung bereitet haben, in ihrer Bestimmung bestätigt, korrigiert oder weitreichender determiniert werden. Amphibien und Reptilien wurden „auf Sicht“ kartiert, soweit eine Bestimmung möglich war (STÖKL & VÖLKER 2007).

Die Arten der Familien *Halacaridae* und *Hydrachnellae* der Ordnung *Acari* wurden von Dr. Peter Martin (Kiel) bestimmt. Die Arten der Ordnung *Opiliones* (Weberknechte) hat Dr. Axel Schönhofer (Mainz) determiniert. Die Arten der Ordnung *Homoptera* (Gleichflügler), Unterordnung *Auchenorrhyncha* (Zikaden) wurden von Christoph Bückle (Tübingen) bestimmt. Die Arten der Familie *Trichoniscidae* (Ordnung *Isopoda*) wurden von Andreas Allspach (Senckenberg, Frankfurt) determiniert.

<b>Taxon</b>	<b>Bestimmungsliteratur</b>
Turbellaria	REYNOLDSON & YOUNG (2000)
Mollusca	GLÖER & MEIER-BROOK (2003)
Annelida, Lumbricidae	CHRISTIAN & ZICSI (1999)
Crustacea, Amphipoda	SCHELLENBERG (1942)
Ephemeroptera (Larvae)	EISELER (2005)
Odonata (Larvae)	FRANKE (1979)
Plecoptera (Larvae)	ZWICK (2004)
Coleoptera (Wasserkäfer: Imagines und Larvae)	KLAUSNITZER (1996)
Trichoptera (Larvae)	WARINGER & GRAF (1997), WARINGER & GRAF (2004)
Diptera (Larvae)	SUNDERMANN & LOHSE (2004), HENNIG (1950), HENNIG (1948)

Tab. K4-12: Übersicht der Bestimmungsliteratur zur Determination der Fauna in Eigenleistung. Die Literatur ist in einer separaten Auflistung im Literaturverzeichnis zu finden

#### 4.1.3 Kennzeichnung von Quellumfeld und Waldform

Die Erfassung von Umfeldfaktoren wie Landnutzung und Biotoptypen sowie Waldform und dominierende Baumarten erfolgte modifiziert als Sichtkartierung nach der Viertelkreissegment-Methode (ZOLLHÖFER 1997). Ausgehend vom Standpunkt an der Quelle wird das Umfeld nach Himmelsrichtungen (Kompass) in 4 Segmente (NW-, NE-, SE- und SW-Segment) eingeteilt, die einen Radius von 100 Metern haben sollten bzw. der Sichtweite vom Standort aus entsprechen (Abb. K4-4).

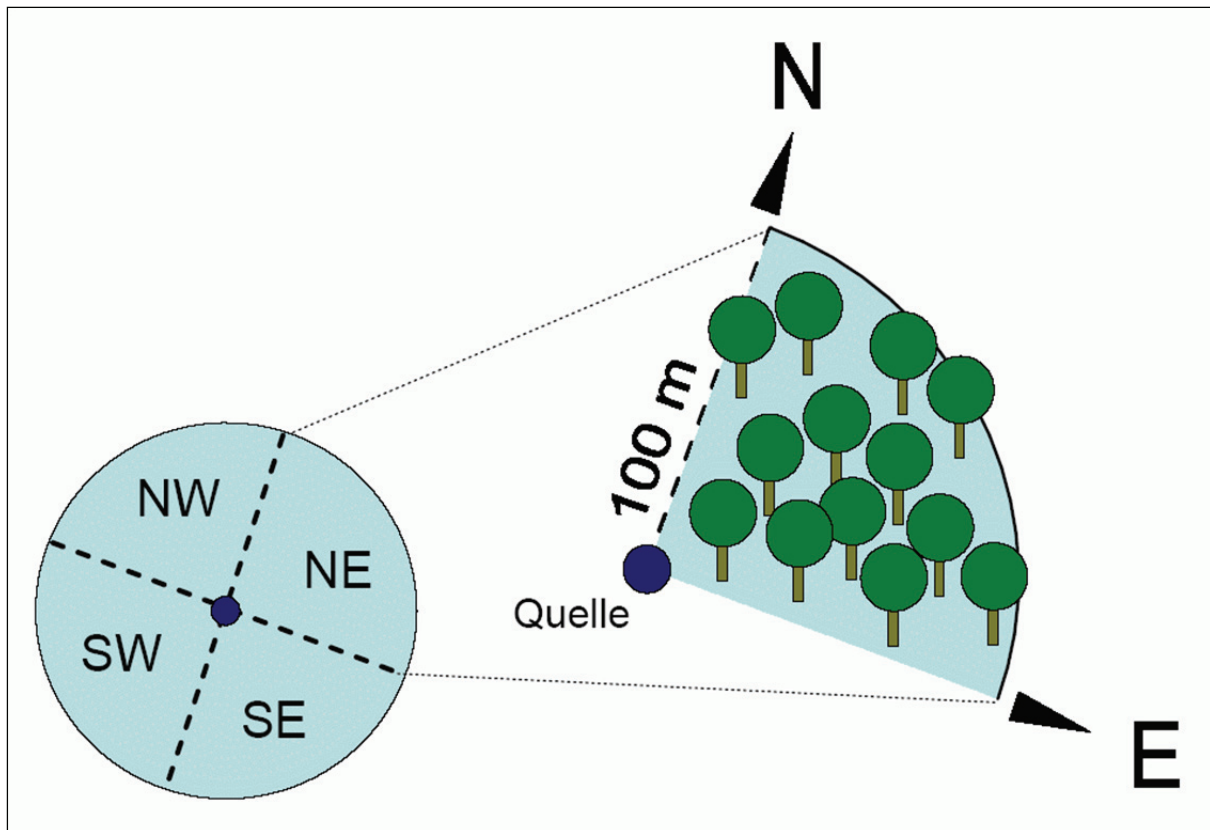


Abb. K4-4: Prinzip der Viertelkreissegment-Methode. NE: Nordosten; SE: Südosten; SW: Südwesten; NW: Nordwesten; N: Norden; E: Osten. Eigene Darstellung

Die Waldform wird in den Kategorien Quell-/Bruchwald, Laubwald, Mischwald und Nadelwald in zwei Klassen nach dem Deckungsgrad (1: 10-50% Waldbedeckung; 2: >50% Waldbedeckung) erfasst. Quell-/Bruchwald werden ausschließlich durch die Laubbaumart *Alnus glutinosa* (Schwarzerle) mit *Fraxinus excelsior* (Esche) dominiert. Daneben kommen weitere Begleitarten der Schwarzerlen-Bruchwälder (z.B. Grauweiden, Moorbirken) vor. Laubwald ist ein Reinbestand aus Laubbaumarten wie Rotbuche, Eichen- oder Ahornarten. Der Mischwald besteht aus Laub- und Nadelbäumen, wobei mindestens 5 % Baumarten der jeweiligen Gruppe beigemischt sein müssen ( $\geq 5\%$  Nadelbäume in einem Laubwald;  $\geq 5\%$  Laubbäume in einem Nadelwald). Nadelwald ist ebenfalls ein Reinbestand, jedoch kommen ausnahmslos Nadelbaumarten wie Fichte, Tanne oder Kiefer vor. Dominierende Baumarten wurden je nach Viertelkreissegment erfasst (reine Notation, keine pflanzensoziologische Aufnahme). Weitere Biotoptypen innerhalb der sichtbaren 100m-Radien und Viertelkreissegmente wurden ebenfalls von der Quelle aus notiert (nach HAEUPLER 2002). Eine Erkundung der jeweiligen Viertelkreissegmente wurde zur Absicherung zu Fuß unternommen. Ferner wurden Rodungsflächen oder Hiebtätigkeiten als weitere Landnutzungsmuster pro Viertelkreissegment und Deckungsgrad (1: 10-50%; 2: >50%) erfasst.

Die Beschattungs- bzw. Lichtverhältnisse der Quellen im Wald wird qualitativ mit der Einteilung des Kronenschlusses in a) *voll*; b) *teilweise* und c) *kein* vorgenommen. Die visuelle Einschätzung des Kronenschlusses orientiert sich dabei an dem forstwirtschaftlichen Kronenschlussgrad (KRAMER & AKÇA 1995) zur Beurteilung der Lichtverhältnisse durch Waldbedeckung des Quellstandortes. So sind alle Kronenschlussgrade nach KRAMER & AKÇA (1995) hierbei als voller Kronenschluss zu verstehen. Ein teilweise vorhandener Kronenschluss meint einen lückigen Bestand mit Lichtungsbe-

reichen ohne Baumbestand (*gaps*). Größere Lichtungsflächen ohne Baumbestand mit überwiegend ganztägigem Lichteinfluss haben keinen Kronenschluss (= *kein*).

## 4.2 Externe Datenerhebung (Recherche)

Zusätzlich zur in Eigenleistung erhobenen Daten wurde externe Daten im Projekt erfasst. Vor allem aus analogen und digitalen Kartenwerke, Geographischen Informationssystemen (GIS), aus Online-Informationssystemen im Internet sowie aus Datenbankabfragen. Die somit gewonnenen externen Daten wurden in die eigene Projektdatenbank importiert oder eingepflegt. Als Kartenwerke wurden insbesondere geologische Karten und Bodenkarten genutzt, aber auch Landschaftsrahmenpläne, gewässerkundliche Flächenverzeichnisse und Vegetationskarten (meist potentiell natürliche Vegetation). Zudem konnten Daten unmittelbar aus den eigenständig erhobenen Punktdaten der geographischen Lage aus Datenbanken des Landesverbands für Höhlen- und Karstforschung in Hessen e.V. abgefragt und importiert werden. Hierzu zählen neben Informationen zum geologischen Untergrund oder der Höhenlage vor allem zahlreiche administrative Grunddaten (Gemarkung, Gemeinde, Landkreis, Naturraum, etc.) sowie landesplanerische Angaben zum Schutzstatus (Naturschutzgebiet, Wasserschutzgebiet). Hier wurde eine Im-/Exportschnittstelle zum Datenaustausch mit dem Biospeläologischen Kataster von Hessen hergestellt, das zusätzlich eine Exportfunktion zur Datenbank NATIS des Landes Hessen besitzt. Das bedeutet, die hier erhobenen eigenen Daten wurden wiederum zur externen Verfügung gestellt. Online-Informationssysteme im Internet wurden insbesondere zur Überprüfung von Sachinformationen und der Aktualitätsabfrage genutzt. Hier stehen mittlerweile zahlreiche Fachinformationssysteme zur Verfügung, die zum einen thematische Karten aus webbasierten Geographischen Informationssystemen zur Verfügung stellen, zum anderen aber Datenbankabfragen im Onlinesystem zulassen. Das vom Land Hessen betriebene Geoportal (<http://www.geoportal.hessen.de>) bündelt zum Beispiel mehrere Online-Informationssysteme wie den Umweltatlas Hessen, den BodenViewer oder das Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasser. Zahlreiche einzelne Fach- (Umweltatlas Hessen) und Geobasisdaten werden im HessenViewer (<http://hessenviewer.hessen.de>) direkt in der Anwendung integriert, so dass räumlich bezogene Flächendaten selbst konfiguriert und abgefragt werden können.

## 4.3 Datenmanagement – Aufbereitung, Auswertung und Archivierung

Die mit Hilfe von Kartierbögen erfassten Daten aus der Geländearbeit wurden zunächst mit der Software *MS Excel* in Tabellen übertragen. Fertige Tabellen wurden in die relationale Datenbank (*MS Access*) importiert. Die Tabellen beinhalten alle Rohdaten sowie bereits klassifizierte bzw. aggregierte Daten. Statistische Aufbereitungen und Analysen wurden mit dem *Excel-Add-In XLSTAT* sowie mit dem Programm *PRIMER* Version 6.1.7 (CLARKE & WARWICK 2001) durchgeführt. Mit der relationalen Datenbank *MS Access* besteht die Möglichkeit einzelne Parameter aus unterschiedlichen Tabellen miteinander zu verknüpfen und somit in Beziehung zu setzen, woraus Abfrage-Tabellen resultieren. Der Re-Export in Tabellen (*Excel-Format*) ermöglicht dann wiederum statistische Analysen mit *XLSTAT*. Außerdem bietet die *Access*-Datenbank eine direkte Schnittstelle zum Biospeläologischen Kataster von Hessen, die mit der gleichen Datenhaltungs- und Datenarchivierungs-Architektur funktioniert, so dass ein Datenaustausch in beiden Richtungen erfolgen kann. Verknüpfungspunkt ist die Katasternummer (Biospeläologischen Kataster von Hessen) und die Objekt-



nummer aus der eigenen Projektdatenbank. Ein weiterer Vorteil dieser Kooperation mit dem Landesverband für Höhlen- und Karstforschung in Hessen e.V. ist die doppelte Datenhaltung, d.h. der Rückgriff auf Daten bei einem möglichen Datenverlust an externer Stelle. Abb. K4-5 zeigt den Aufbau des Datenmanagements. Die Archivierung liegt sowohl in Papierform, als auch digital gespeichert vor.

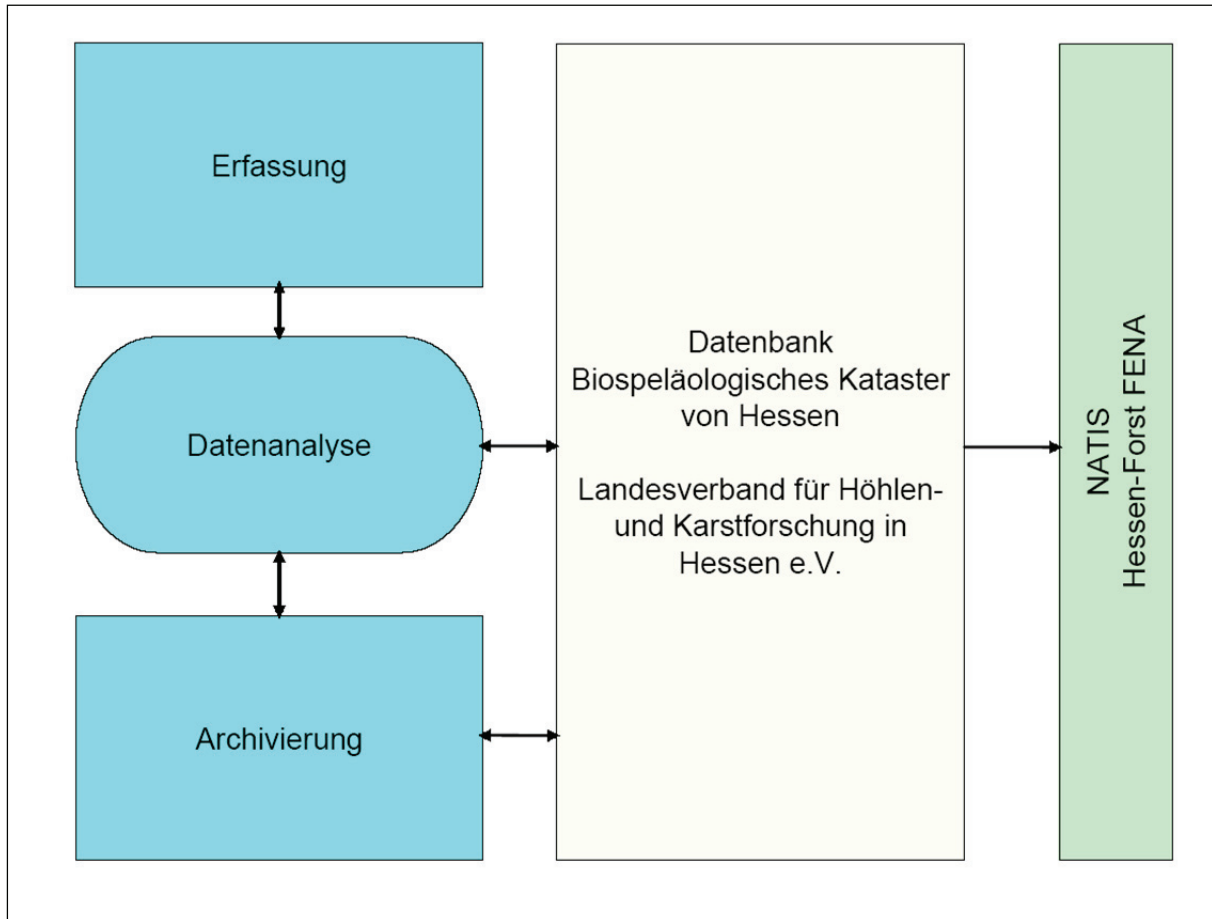


Abb. K4-5: Übersicht zum Aufbau des Datenmanagements. Eigene Darstellung

Zur pflanzensoziologischen, syoptischen Tabellenarbeit wurde nach den Arbeitsschritten aus DIERßEN (1990) vorgegangen. Die Aufnahmen (Relevés) wurden zunächst nach der Waldform in einer Rohtabelle aufgelistet. Dann wurde nach Charakter und Trennarten, vor allem basierend auf den Angaben, der Gliederung, Nomenklatur und Synökologie nach HINTERLANG (1992) differenzierte Tabellen erarbeitet. Die entsprechende Zuordnung zu Vegetationstypen auf Assoziationsniveau erfolgte durch Überprüfung der Standortangaben aus der Kartierung. Die Erfassungsdaten aus der Vegetationskartierung wurden mit der PC-Software *Juice* (Version 7.0) (TICHY 2002) ausgewertet.

Eine weitere Aufbereitung der erfassten Daten erfolgte zur Visualisierung, aber auch zur Auswertung räumlicher und fachlicher Informationen, durch Erarbeitung eines Projekts in einem Geographischen Informationssystems (GIS). Hierzu wurde die Open-Source-Software QGIS (Quantum GIS) genutzt.

Neben der Archivierung der Daten, wurden alle Fauna-Proben im Archiv des Biospeläologischen Katasters von Hessen archiviert. Die Proben können taxonomisch und nach Objekt durchsucht werden.

Zur ökologischen Kennzeichnung der Artenvielfalt der Wirbellosenfauna wurden unterschiedliche quantitative Methoden angewendet, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

### **Diversitäts- oder Shannonindex**

Die Artenvielfalt wird mit dem Diversitätsindex beschrieben, der auch als Shannon-Index (H) bezeichnet wird (SHANNON & WEAVER 1949). Hierzu wird die Anzahl unterschiedlicher Arten der Untersuchungsobjekte verglichen, der die Individuenzahl einer Art berücksichtigt. Somit ist der Shannon-Index ein Maß für die  $\alpha$ -Diversität:

$$H = \sum_{i=1}^{n_i} p_i \ln p_i$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

$p_i$  = relative Artenhäufigkeit

$n_i$  = Anzahl der i-ten Art

$N$  = Gesamtanzahl aller Arten

Ein weiterer Index zur Berechnung der Artenvielfalt ist der Margalef-Index (d) (MARGALEF 1958). Bei der Berechnung der Artenvielfalt nach Margalef erfolgt keine Gewichtung der relativen Anteile der Arten (Dominanzen) wie etwa beim Shannon-Index:

$$d = \frac{S - 1}{\ln N}$$

$S$  = Artenanzahl

$N$  = Gesamtanzahl an Individuen

Die Anzahl der Individuen sollte als absolute Anzahl und nicht als Dichtemaß angegeben werden, da es sonst zu abweichenden Ergebnissen kommen kann (GAMITO 2010).

### **Evenness**

Die Evenness (E) (PIELOU 1966) gibt die Verteilung (engl. evenness = Gleichmäßigkeit) der Individuen auf die vorkommenden Arten an, ist also ein Strukturmaß, das angibt, in wie weit innerhalb der Artenvielfalt eine homogene oder heterogene Verteilung der Individuen vorliegt. Hierzu wird der Quotient aus dem vorhandenen Diversitätswert ( $H_S$ , Shannon-Index) und dem maximal möglichen Indexwert ( $H_{\max}$ ) bei gleicher Artenzahl gebildet:  $E = H_S / H_{\max}$ .

Ist die Verteilung ungleich ist der Indexwert der Evenness nahe Null. Ist die Verteilung gleichmäßig, so ist die Evenness nahe dem Indexwert von 1.

### **Substratpräferenz**

Die Substratpräferenz (SP) der Arten und Gattungen wird über das statistische Treuemaß, also der Stetigkeit eines Taxon errechnet. Hierzu wird der Quotient aus dem Vorkommen eines Taxon in einem Substrattyp ( $T_i$ ) und der Gesamtanzahl der Einzelfunde (EF) des Taxon ( $T_n$ ) gebildet:  $SP = T_i / T_n$

Die Berücksichtigung von Einzelfunden als Berechnungsgrundlage des Nenners der Quotientenbildung ermöglicht es, auch insgesamt seltene Einzelfunde (mindestens 3 EF) zu analysieren.

### Korrelation

Statistische Übereinstimmungen zwischen zwei Parametern (Stärke eines Zusammenhangs) werden mittels der Berechnung des Korrelationskoeffizienten  $r$  nach PEARSON (Produktmoment-Korrelationskoeffizient in BAHRENBURG, GIESE & NIPPER 1985) beschrieben:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Die Art des Zusammenhangs kann wie folgt beurteilt werden (ROSNER 1997):

Sehr starke Übereinstimmung:  $r = 0,87$  bis  $1,0$   
 Starke Übereinstimmung:  $r = 0,71$  bis  $0,86$   
 Mittlere Übereinstimmung:  $r = 0,5$  bis  $0,7$   
 Schwache Übereinstimmung  $r < 0,5$

### Multivariate statistische Methoden

Die Verwendung multivariater Statistik erfolgt vor allem zur Analyse und Interpretation der Gemeinschaftsstruktur der Fauna, d.h. zur Darstellung und Diskussion der Frage, ob sich Quellen in ihrer Artzusammensetzung ähnlich oder unähnlich sind. Dieser Vergleich zwischen den Objekten erfolgt mit Hilfe eines Ordinationsverfahrens (graphische Darstellung der Daten in einem Koordinatensystem), das Distanzmaße zwischen den untersuchten Quellen hinsichtlich der Artkomposition berechnet (LEYER & WESCHE 2007). Zur Ermittlung der Distanzmaße wurde die Chi-Quadrat-Distanz als Methode gewählt, weil sie für die vorliegenden Daten bestimmte Vorteile bietet (LEYER & WESCHE 2007, LEGENDRE & GALLAGHER 2001): Die Chi-Quadrat-Distanz ist für Datensätze mit vielen Nullwerten geeignet; im Vergleich zweier Objekte werden Arten, die in beiden Aufnahmen fehlen nicht berechnet (keine Verzerrung bei fehlenden Arten); häufige Arten werden im Verhältnis herab- und seltene Arten heraufgewichtet. So eignet sich diese Methode der Distanzmaßberechnung besonders für heterogene Datensätze, wie den hier vorliegenden Erhebungen. Außerdem erzielten die Berechnungen mit dieser Methode die besten Stresswerte und sprechen demnach für die beste Güte der Berechnung (BACKHAUS ET AL. 2008). Die Chi-Quadrat-Distanz wird wie folgt berechnet:

$$d_{jk} = \sqrt{\sum_i \frac{1}{y_{+k}} \left[ \frac{y_{1k}}{y_{1+}} - \frac{y_{2k}}{y_{2+}} \right]^2}$$

$y_{+j}$  = Summe aller Werte für die Art

$k, y_{1+}$  = Summer aller Werte für das Objekt 1

$y_{++}$  = Summe aller Werte in der Tabelle (Arten in Spalten; Objekte in Zeilen)

Die Datentransformation der Abundanzwerte erfolgte mittels dem Quadratwurzelverfahren (*square root* in *PRIMER* Version 6.1.7), wobei bereits in diesem Verfahren die Gewichtung reduziert wird. Eine Klassifikation der einzelnen Objekte (Quellen) erfolgt mittels Clusteranalyse, wobei eine hierarchische Gruppierung ähnlicher Objekte (Artzusammensetzung) durch den Gruppenmittelwert (*group average* in *PRIMER* Version 6.1.7) erfolgt.

Zur Visualisierung wurde das Ordinationsverfahren der nichtmetrischen multidimensionalen Skalierung („non-metric multidimensional scaling = nMDS) angewandt. Die Berechnung der Distanzmaße als Ausdruck der Ähnlichkeit der Objekte wird in einem zweidimensionalen Raum bzw. Koordinatensystem abgebildet. Zur weiteren Information ist die Clusteranalyse dargestellt, damit die Klassifikation ersichtlich wird. Die Güte der nMDS wird mit Hilfe von Stresswerten angegeben, um die Qualität der Interpretierbarkeit einzuschätzen (Tab. K4-13).

Stresswert	Bewertung (nach LEYER & WESCHE 2007)
< 0,01	Unrealistisch, Ergebnis überprüfen
0,01 – 0,05	Hervorragend, Ergebnis zuverlässig
0,05 – 0,10	Gut, Ergebnis höchst wahrscheinlich zuverlässig
0,10 – 0,15	Ergebnis wahrscheinlich noch brauchbar, Details des Plots sollten nicht interpretiert werden
0,15 – 0,20	Ergebnis möglicherweise noch brauchbar, Gefahr von Fehlinterpretationen
> 0,20	Wahrscheinlich wertlos (ab 0,35 ist das Ergebnis zufällig)

Tab. K4-13: Einschätzung der Güte einer nMDS (Ordination). Nach LEYER & WESCHE 2007 verändert

Zur Überprüfung, welches Taxon (Art, Gattung) als erklärender Indikator für die Ähnlichkeit in der Artzusammensetzung der Quellen in Frage kommt, wurde der SIMPER Test (auch SIMPER Analyse von *similarity percentages*) durchgeführt (CLARKE & WARWICK, CLARKE 1993). Es werden die quadratwurzeltransformierten Abundanzangaben der Taxa verglichen, um zu ermitteln welche Taxa die Zusammensetzung aufgrund eines häufig gemeinsamen Auftretens bzw. Vorkommens erklären (Ähnlichkeit = *similarity*). Dabei werden vor allem Taxa berücksichtigt, die besonders hohe Abundanzen aufweisen (CLARKE 1993). Berechnet wird ein Ähnlichkeitskoeffizient mit der dazugehörigen Standardabweichung (CLARKE 1993):

$$S_{jk} = \sum_i^p \frac{S_{jk}(i)}{S_{jk}(i)}$$

Ist der Quotient hoch, ist die Standardabweichung gering und umso besser eignet sich das Taxon als erklärender Indikator der Gemeinsamkeit von Artzusammensetzungen.



## 5. Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt nach Einzelparameter des Erfassungsprogramms im Gelände (siehe Kartierbögen im Anhang), der folgenden Struktur entsprechend:

- a) Übersicht zur Gesamtanzahl der erfassten Quellen
- b) nach Untersuchungsgebieten gegliedert (sofern Differenzierung sinnvoll)

Eine Interpretation und Diskussion der Ergebnisse wird in Kapitel 6 vorgenommen.

### 5.1 Abiotische Kennzeichnung der Quellstandorte

#### 5.1.1 Topographie und Relief

##### Lage der Quellen

Die Auswertung des gesamten Datensatzes ( $n = 152$  Quellen) nach der Lage der Quelle im Untersuchungsgebiet zeigt (Abb. K5-1), dass die Mehrzahl der untersuchten Quellen mit 58 Prozent im Mittelhang-Bereich liegen. Die anderen Quellen verteilen sich mit 19 Prozent auf die Lage im Oberhang, mit 11 Prozent auf die Lage in der Tiefebene / Aue, mit 9 Prozent auf die Lage im Unterhang sowie mit 3 Prozent auf die Hochebene / Kuppe.

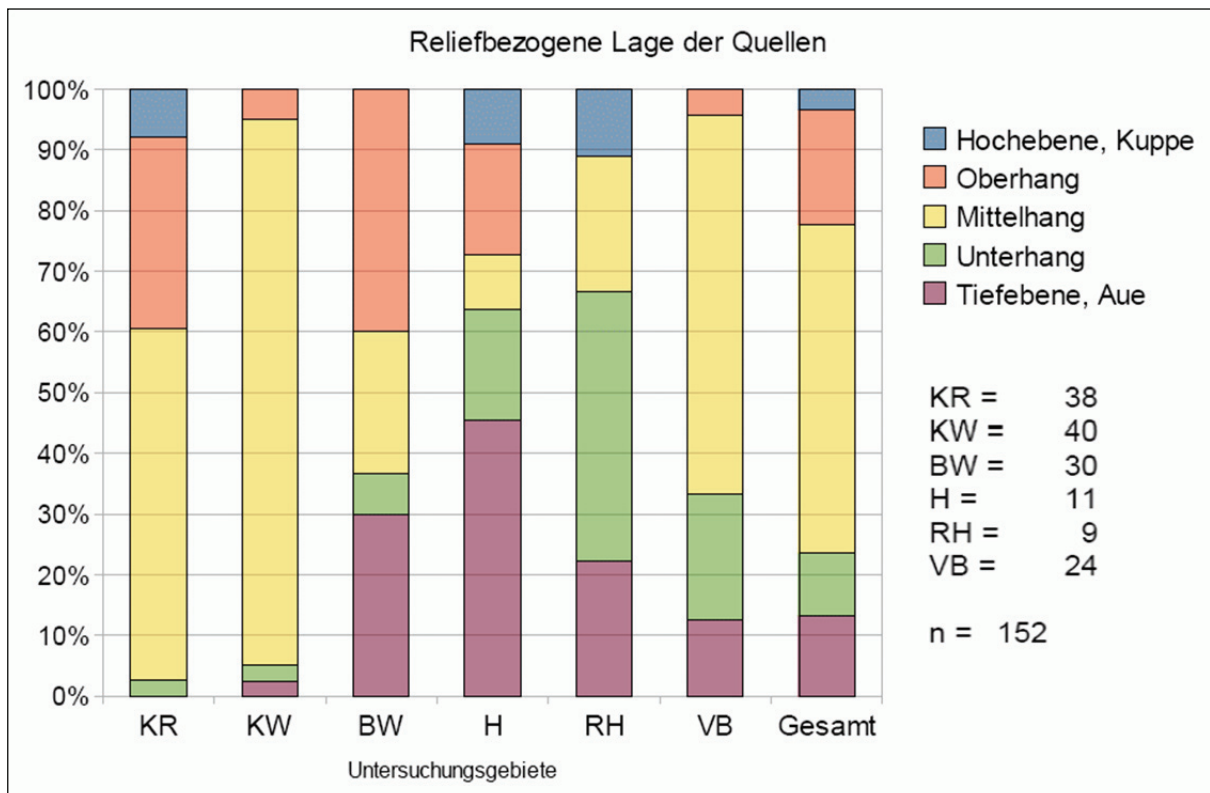


Abb. K5-1: Lage der Quellen in den Untersuchungsgebieten. Abkürzungen: KW: Kellerwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein). Eigene Darstellung

Regionale Unterschiede zur Lage der Quelle ergeben sich vor allem für die Untersuchungsgebiete Krofdorfer Forst und Kellerwald. Hier liegt die Mehrzahl der Quellen im Bereich des Mittelhangs (Krofdorfer Forst: 22 Quellen, Kellerwald: 36 Quellen).

Lediglich im Krofdorfer Forst ist die Oberhanglage mit 12 Quellen von Bedeutung, was für den Kellerwald nicht zutrifft. In den Untersuchungsgebieten Burgwald, Hainich und in der Rhön ergibt sich keine eindeutig dominierende Lage der Quellen. Im Burgwald liegen die untersuchten Quellen eher im Oberhang (12 Quellen), gefolgt von Tiefebene, Aue (9 Quellen) und Mittelhang (7 Quellen). Die Quellen im Hainich zeigen eine stärkere Dominanz in der Tiefebene, Aue (5 Quellen), sind ansonsten meist heterogen auf die anderen Hanglagen verteilt. In der Rhön befinden sich die meisten untersuchten Quellen im Unterhangbereich (4 Quellen). Die Lage der Quellen im Vogelsberg zeigt im Abschnitt des Mittelhangs eine Dominanz (15 Quellen).

### Höhenlage

Die Meereshöhe der untersuchten Quellen hat eine Spannweite von 535 Höhenmetern, d.h. die am tiefsten gelegene Quelle hat eine Meereshöhe von 245 mNN, die am höchsten gelegene Quelle eine Höhenlage von 780 mNN (Abb. K5-2). Der Mittelwert liegt bei 419 mNN (Abb. K5-2).

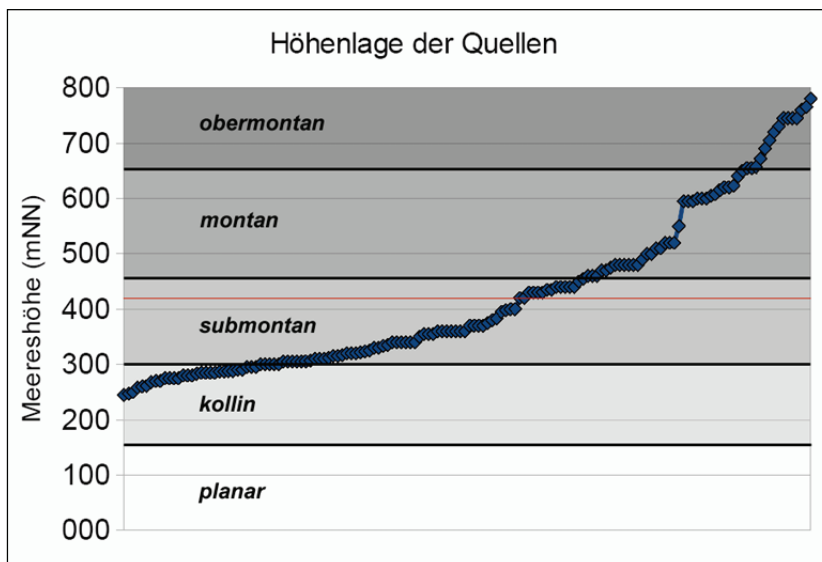


Abb. K5-2: Höhenlage der gesamten untersuchten Quellen. Werte sind vom Minimum- bis zum Maximumwert aufgereiht. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die Einheiten auf der x-Achse entfernt. Ein Symbol entspricht jedoch einer Quelle (n=152). Die rote Linie markiert den Mittelwert (419 mNN). Einteilung der Höhenstufen nach MAYER (1984). Eigene Darstellung

Eine quantitative Auswertung des gesamten Datensatzes ergibt, dass 35 Quellen (23%) in der kollinen Höhenstufe, 66 Quellen (43%) in der submontanen Höhenstufe, 36 Quellen (24%) in der montanen Höhenstufe und 15 Quellen (10%) in der obermontanen Höhenstufe liegen. Die Höhenlage der untersuchten Quellen nach dem jeweiligen Untersuchungsgebiet ist in Abb. K5-3 dargestellt.

Die nach der Höhenlage am tiefsten gelegenen Quellen befinden sich im Krofdorfer Forst, Hainich und Burgwald, die im kollinen und submontanen Bereich der Höhenstufe liegen. Die Höhenlagen der Quellen im Kellerwald befinden sich im submontanen bis montanen Bereich. Die Quellen der Niddahänge im Westlichen Hohen Vogelsberg erreichen die montane und obermontane Höhenstufe. Die Quellen im Untersuchungsgebiet Schafstein in der Rhön befinden sich ausnahmslos in der obermontanen Höhenstufe.

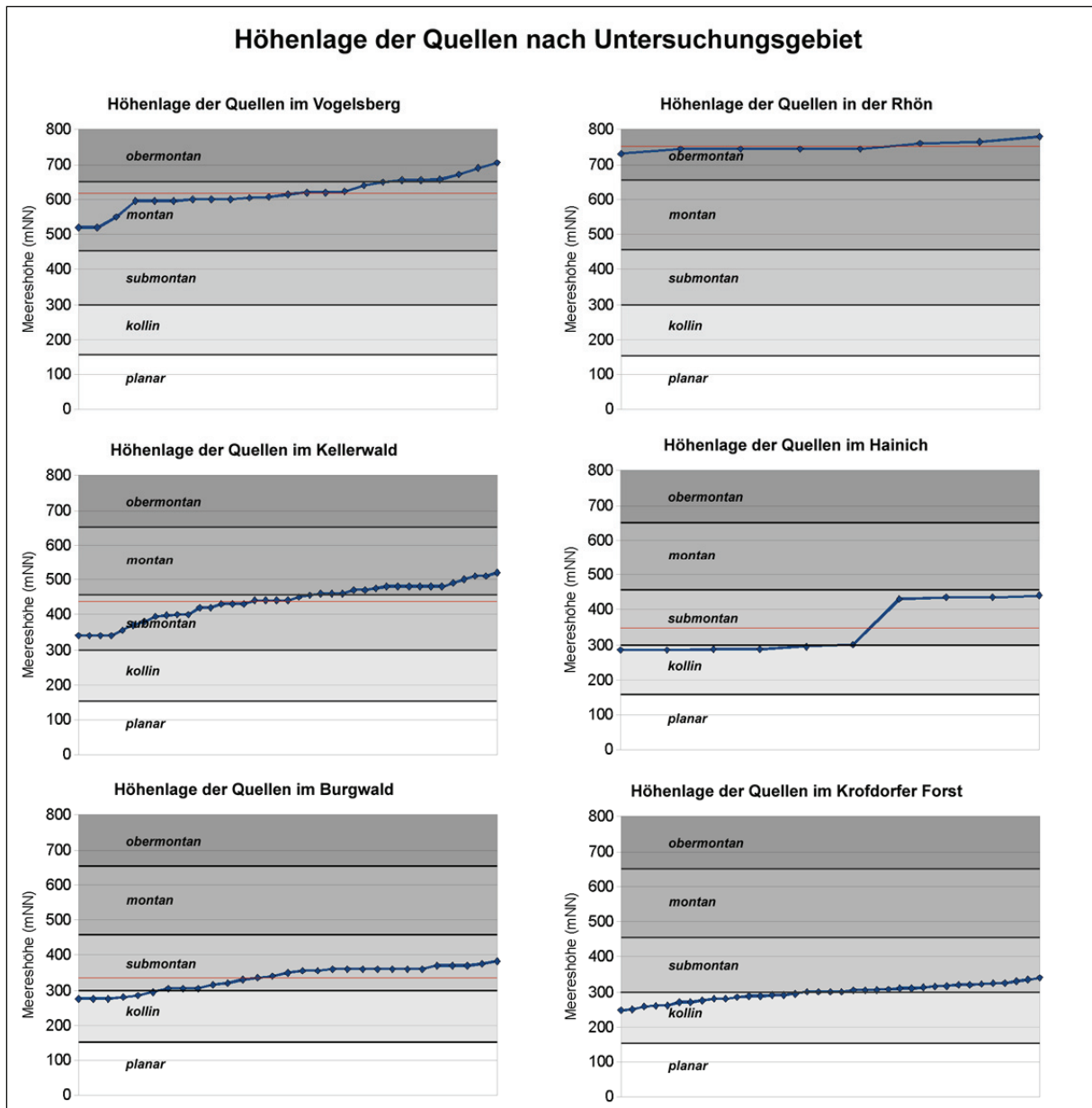


Abb. K5-3: Höhenlage der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet. Eigene Darstellung

## Geländeneigung

Die Mehrheit aller untersuchten Quellstandorte liegt mit einer absoluten Anzahl von 68 Standorten (41%) in stark geneigten Hanglagen (Abb. K5-4).

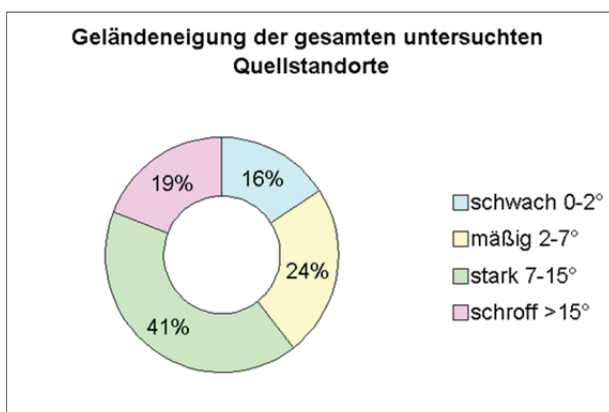


Abb. K5-4: Geländeneigung der gesamten untersuchten Quellstandorte. Eigene Darstellung

### Geländeneigung der untersuchten Quellstandorte nach Untersuchungsgebiet

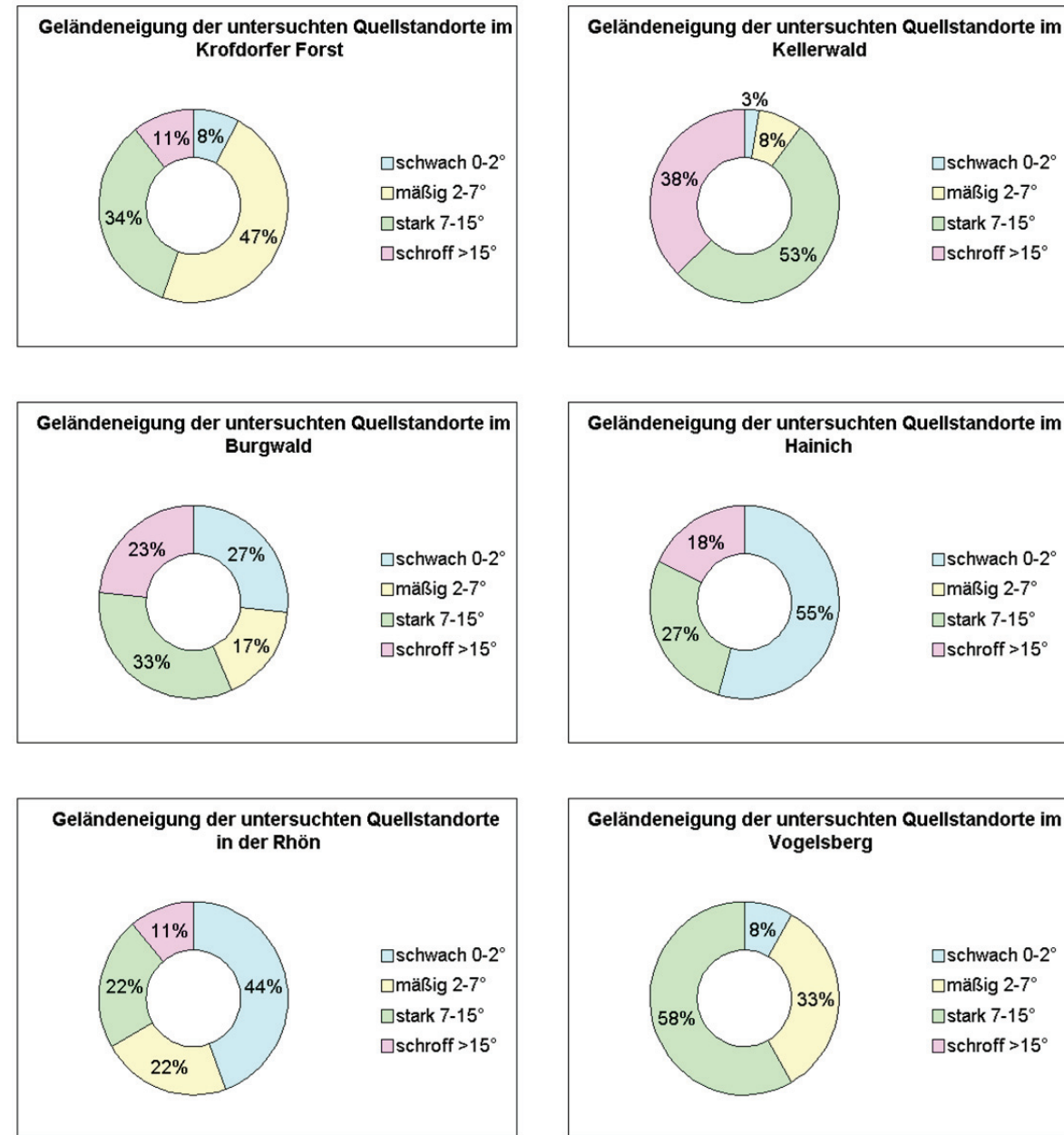


Abb. K5-5: Geländeneigung der untersuchten Quellstandorte nach Untersuchungsgebiet. Eigene Darstellung

An 36 Quellstandorten (24%) ist eine mäßige Hangneigung und an 29 Quellstandorten (19%) eine schroffe Hangneigung vorhanden. 24 Quellstandorte (16%) befinden sich in meist ebenen Geländelagen, die als schwach geneigt gekennzeichnet sind. Die regionalen Unterschiede werden in der synoptischen Einzelbetrachtung der Geländeneigung deutlich (Abb. K5-5). Demnach sind ebene Quellstandorte mit einer schwachen Hangneigung im Hainich (55%) und am Schafstein in der Rhön (44%) dominierend. In den anderen Untersuchungsgebieten sind diese Standorte unterrepräsentiert, mit Ausnahme des Burgwaldes, wo die Hangneigungsklassen im Verhältnis gleich verteilt sind. Mäßig geneigte Hanglagen sind vor allem im Krofdorfer Forst (47%) sowie in den Untersuchungsgebieten des Vogelsbergs (Niddahänge) mit 33% und am Schafstein in der Rhön mit 22% häufig. Mit Ausnahme des Burgwaldes



(17%) haben die Standorte mit mäßig geneigten Hanglagen keine große Relevanz bzw. kommen im Hainich nicht vor. Quellstandorte mit stark geneigtem Gelände sind im besonderen Maße im Vogelsberg und im Kellerwald dominierend. In allen anderen Untersuchungsgebieten sind stark geneigte Hanglagen häufig, was sich auch in Abb. K5-4 in der Gesamtzahl der ausgewerteten Untersuchungsstandorte zeigt. Somit ist die Geländeneigungsklasse der stark geneigten Hanglagen auch regional bzw. nach Untersuchungsgebieten aufgegliedert quantitativ bedeutsam. Schroff geneigtes Gelände ist lediglich im Kellerwald sehr häufig (38%) sowie im Burgwald (23%), im Hainich (18%), in der Rhön (11%) sowie im Krofdorfer Forst (11%) die dritt-häufigste Geländeneigungsklasse. Schroffe Hanglagen sind an den Quellstandorten im Hainich nicht vorzufinden.

### Hangexposition

Bei der Exposition (Abb. K5-6) dominieren nördlich ausgerichtete Hanglagen (Norden: 21 Quellen; Nordosten: 20 Quellen; Nordwest: 16 Quellen). Allerdings sind Südwest- (18 Quellen) und Ostexpositionen (17 Quellen) ebenfalls häufig, gefolgt von südwestlicher und westlicher Exposition (jeweils 11 Quellen) sowie nordnordöstlicher Exposition (9 Quellen). Eine weniger dominante Position nehmen die Expositionslagen Nordnordwest (5 Quellen), Südsüdwest (4 Quellen) und Südsüdost (3 Quellen) ein. Alle weiteren Expositionen sind nicht vertreten.

Die regionale Kennzeichnung der Exposition der Quellstandorte nach Untersuchungsgebiet zeigt Abb. K5-7.

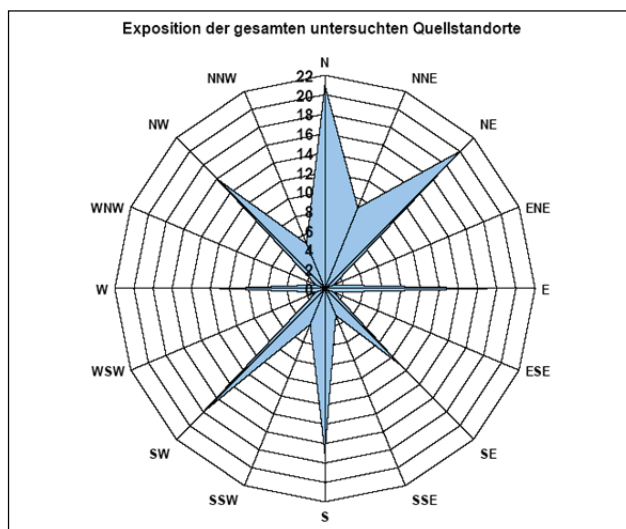


Abb. K5-6: Exposition der gesamten untersuchten Quellen. Eigene Darstellung

Im Vergleich der Untersuchungsgebiete (Abb. K5-7) wird deutlich, dass im Krofdorfer Forst und im Burgwald alle Haupthimmelsrichtungen vertreten sind und in den anderen Gebieten mehrere Expositionslagen fehlen. Die nördlich ausgerichteten Expositionen (Norden, Nordnordost, Nordnordwest) überwiegen im Krofdorfer Forst und im Kellerwald, allerdings sind auch andere Expositionslagen deutlich vertreten. Im Burgwald überwiegend östliche Expositionen, wobei auch nördliche und nordöstliche Expositionslagen häufig sind. Südwestliche und westliche Expositionen sind im Hainich vorherrschend sowie südwestliche und südliche Expositionen im Untersuchungsgebiet Niddahänge im Westlichen Hohen Vogelsberg dominant. Am Schafstein in der Rhön sind nördliche und nordwestliche Expositionen vorherrschend.

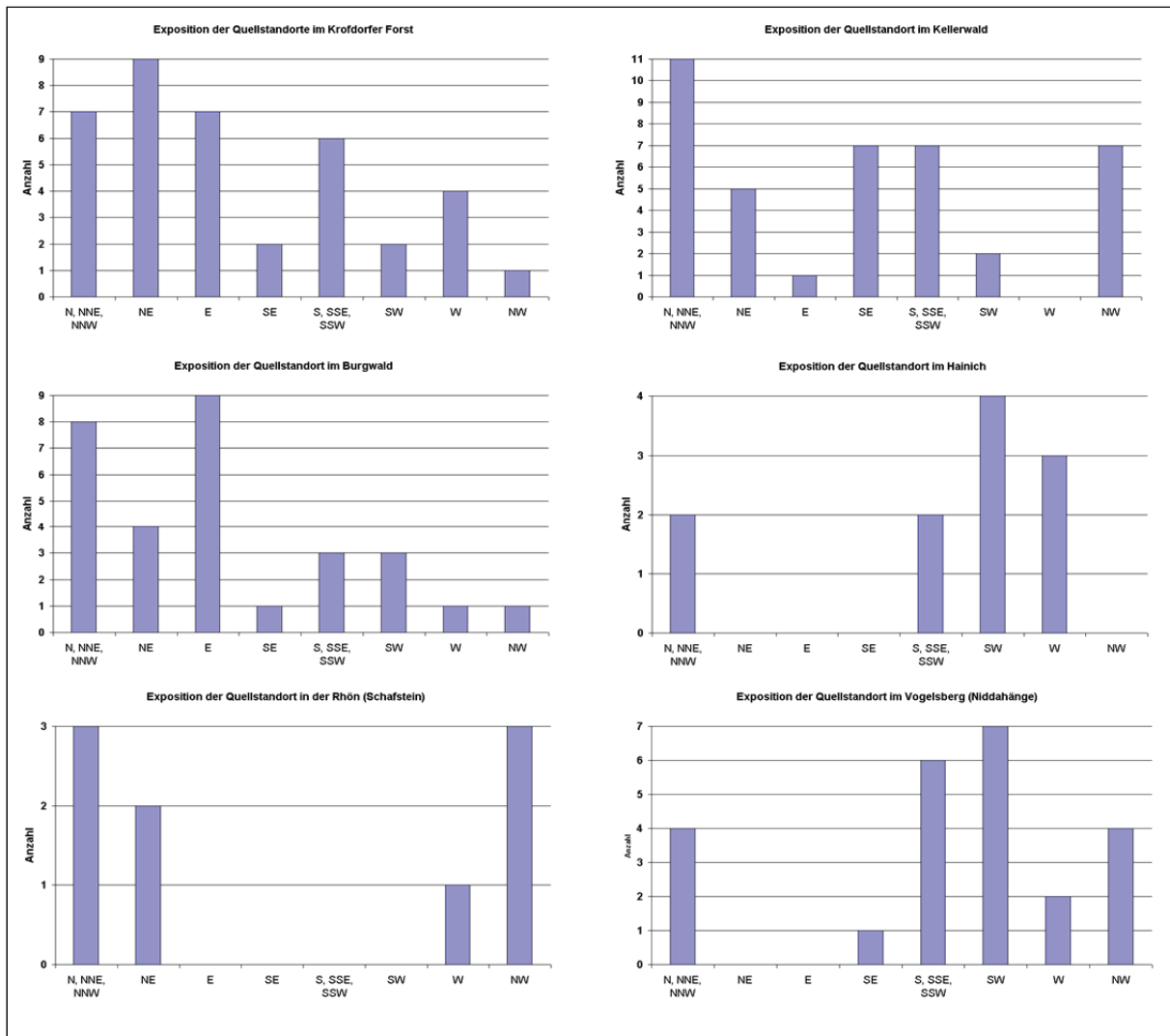


Abb. K5-7: Exposition der untersuchten Quellstandorte nach Untersuchungsgebiet. Eigene Darstellung

### Abflussrichtung

Die Abflussrichtung der Gesamtzahl der untersuchten Quellen weicht nur in 6 Fällen leicht von der Himmelsrichtung der Hang-Exposition ab. Auf eine grafische Darstellung der Ergebnisse wird deshalb verzichtet. Wichtig zu betonen ist an dieser Stelle jedoch, dass alle untersuchten Quellen einen sichtbaren Abfluss in einem Quellbachgerinne haben. Eine Ausnahme ist der Silberborn, eine Tümpelquelle (Limnokrene) im Hainich, der keinen Quellbach ausbildet.

### 5.1.2 Vor-Ort-Analytik

Die Ergebnisse der In-Situ-Direktmessungen werden in der Reihenfolge der erhobenen Einzelparameter dargestellt.

### Wassertemperatur

Die Auswertung der Daten zur Wassertemperatur aller untersuchter Quellen (Abb. K5-8) zeigt eine statistische Spannweite von 12,9° C, wobei der Mittelwert bei 9,7°C und die Extremwerte bei Minimum 3,0°C und Maximum 15,9°C liegen. Der Median (0,5-Quartil) liegt bei 9,4°C. Das 0,25-Quartil liegt bei 7,8°C und das 0,75-Quartil liegt bei 11,7°C, wobei absolut 78 Quellen innerhalb dieses Bereichs liegen.

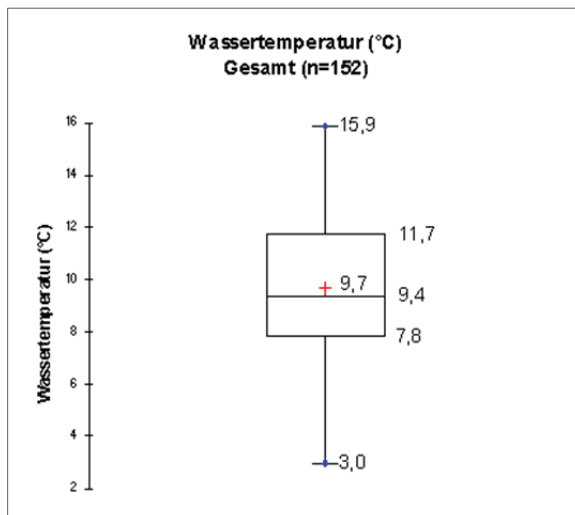


Abb. K5-8: Box-Whisker-Plot der Wassertemperatur aller untersuchten Quellen. Eigene Darstellung

83 Quellen liegen mit ihrer Wassertemperatur unterhalb des Mittelwertes, d.h. 54,6% der Quellen sind kühler als 9,7°C. Der Vergleich der Quellen nach den Untersuchungsgebieten (Abb. K5-9) zeigt zum Teil deutliche regionale Unterschiede der Wassertemperatur. Die Quellen im Hainich zeigen dabei die insgesamt kühlestes Wassertemperaturen an. Der Mittelwert im Hainich liegt bei 5,8°C. Der Minimumwert liegt bei 3°C und der Maximumwert liegt bei 7,8°C, was einer Spannweite von 4,8°C entspricht. Die Quellen am Schafstein in der Rhön haben im Mittel ein Wassertemperatur von 8,5°C. Das Minimum liegt bei 4,6°C und das Maximum liegt bei 11,3°C (Spannweite 6,7°C). Einen ähnlichen Mittelwert lässt sich für die Quellen im Krofdorfer Forst kennzeichnen, jedoch liegt die Spannweite mit 12,9°C deutlich höher, was sich mit einem Minimumwert von 3,0°C und einem Maximumwert von 15,9°C erklären lässt. Die meisten Temperaturwerte des Quellwassers in den Niddahängen im Vogelsberg liegen im Vergleich zu den anderen Untersuchungsgebieten im 0,25-Quartil und dem 0,75-Quartil am dichtesten zusammen. Der Mittelwert liegt bei 9,0°C. Das Minimum liegt bei 6,7°C und das Maximum bei 12,9°C bei einer Spannweite von 6,2°C. Die höchsten Temperaturwerte werden im Mittel im Burgwald (Mittelwert 10,3°C) und im Kellerwald (11,9°C) erreicht. Im Burgwald liegt der Minimumwert bei 7,5°C, im Kellerwald bei 7,8°C sowie die Maximumwerte im Burgwald bei 14,8°C und im Kellerwald bei 15,9°C. Die Spannweite ist mit 8,1°C im Kellerwald größer als im Kellerwald mit 7,3°C. Eine Übersicht wird in Tab. K5-1 als Zusammenfassung gegeben, wobei die Untersuchungsgebiete nach dem Mittelwert der Wassertemperatur aufgelistet sind.

Untersuchungsgebiet	Mittelwert	Min.-Wert	Max.-Wert	Spannweite (Max. - Min.)
Hainich	5,8°C	3,0°C	7,8°C	4,8°C
Rhön (Schafstein)	8,5°C	4,6°C	11,3°C	6,7°C
Krofdorfer Forst	8,7°C	3,0°C	15,9°C	12,9°C
Vogelsberg (Niddahänge)	9,0°C	6,7°C	12,9°C	6,2°C
Burgwald	10,3°C	7,5°C	14,8°C	7,3°C
Kellerwald	11,9°C	7,8°C	15,9°C	8,1°C

Tab. K5-1: Übersicht zur Wassertemperatur der Quellen nach Untersuchungsgebiet

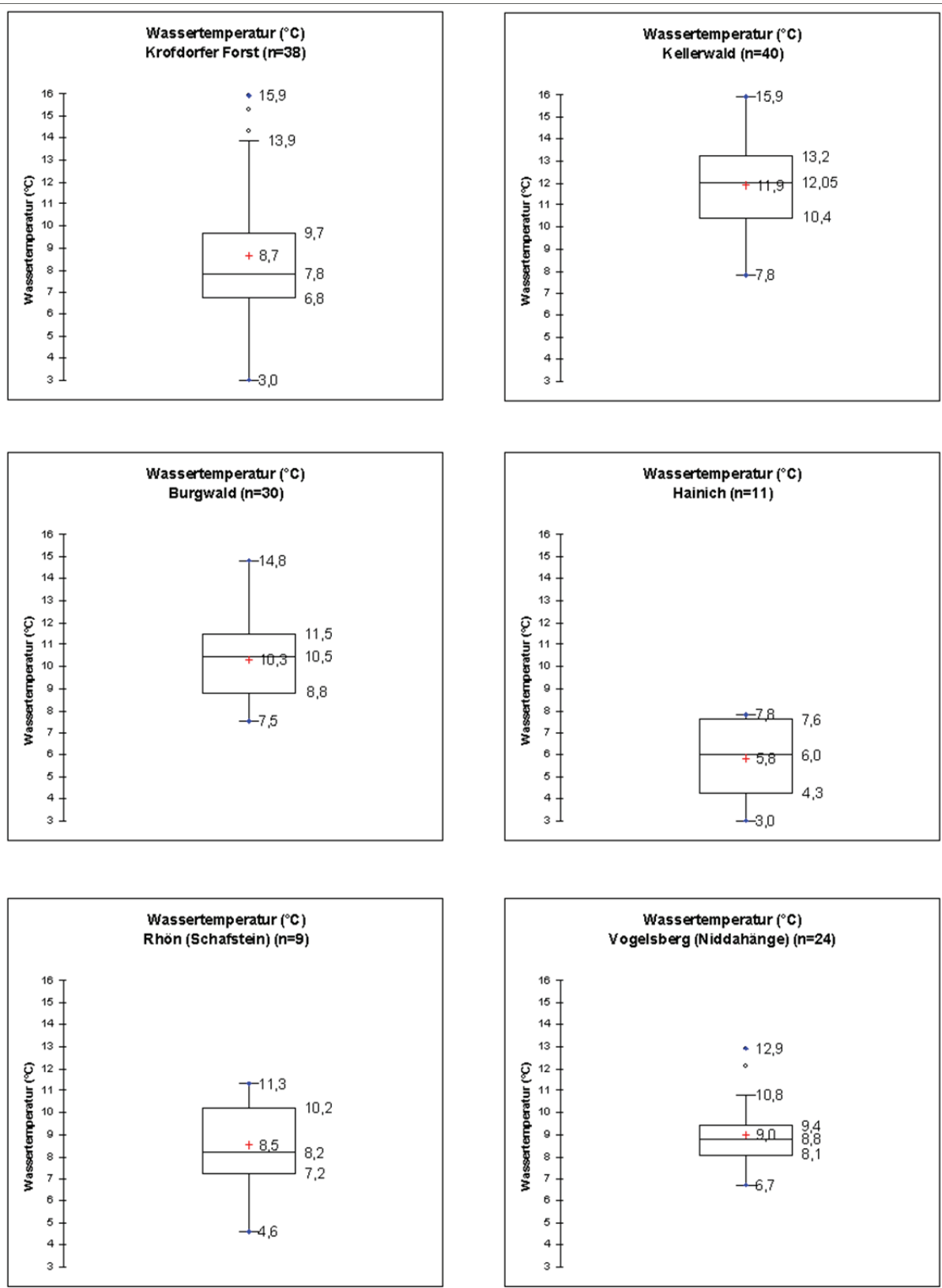


Abb. K5-9: Box-Whisker-Plots der Wassertemperatur der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet. Eigene Darstellung



### pH-Wert

Der pH-Wert variiert sehr stark, da in der Gesamtbetrachtung aller Untersuchungsgebiete regionale Unterschiede einen Einfluss haben (Abb. K5-10).

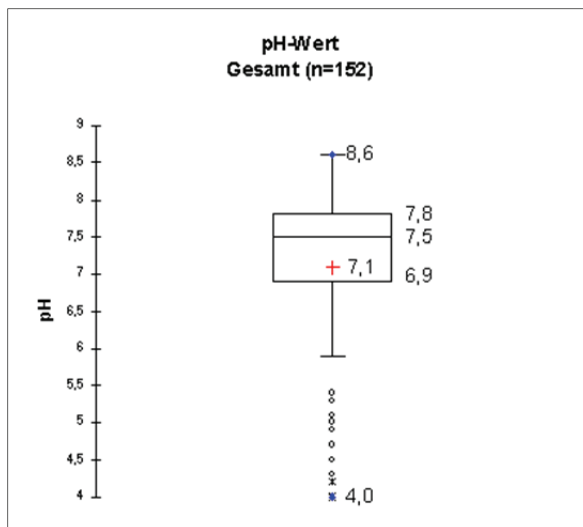


Abb. K5-10: Box-Whisker-Plot des pH-Wertes aller untersuchten Quellen. Eigene Darstellung

Der Mittelwert liegt bei pH 7,1 (Median pH 7,5) im neutralen Bereich, wobei die Extremwerte bei pH 8,6 und pH 4,0 liegen und somit eine Spannweite von basisch bis stark sauren pH-Werten vorliegt.

Im Vergleich der einzelnen Untersuchungsgebiete (Abb. K5-11) zeigt sich zunächst, dass die pH-Werte im Hainich, in der Rhön (Schafstein) und im Vogelsberg (Schafstein) die geringste Spannweite aufweisen, also sehr nah am Mittelwert liegen. Krofdorfer Forst und Kellerwald haben bereits etwas größere Spannweiten, allerdings liegen die Extremwerte im Burgwald am weitesten auseinander. Die paläozoischen Gesteine des Krofdorfer Forstes und des Kellerwaldes sind in der Ausprägung des pH-Wertes (Quellwasser) vergleichbar. Die Quellen im Krofdorfer Forst haben einen Mittelwert von pH 7,3 (Median pH 7,3) sowie Extremwerte von pH 8,1 und pH 6,0. Im Kellerwald liegt der Mittelwert bei pH 7,7 (Median pH 7,8) und die Extremwerte bei pH 8,2 und 6,0. Der pH-Wert der Quellen im Krofdorfer Forst und im Kellerwald ist meist neutral bis schwach alkalisch. Im Kellerwald und im Krofdorfer Forst ist jeweils eine Quelle (pH 6,0) als schwach bis mäßig sauer zu bezeichnen. Die Burgwaldquellen haben einen Mittelwert von pH 5,3 (schwach sauer). Eine genauere Analyse der Einzelwerte der Burgwaldquellen zeigt Tab. K5-2.

pH-Wert-Bereich	Bezeichnung	Anzahl Quellen (BW)
6,2 - 8,6	neutral bis schwach alkalisch	3
5,0 - 6,1	schwach bis mäßig sauer	15
4,2 - 4,9	mäßig bis stark sauer	11
3,8 - 4,1	stark sauer	1
Gesamtanzahl (BW = Burgwald) absolut		30

Tab. K5-2: Klassifizierung des pH-Wertes der Quellen im Burgwald nach ULRICH (1981), verändert

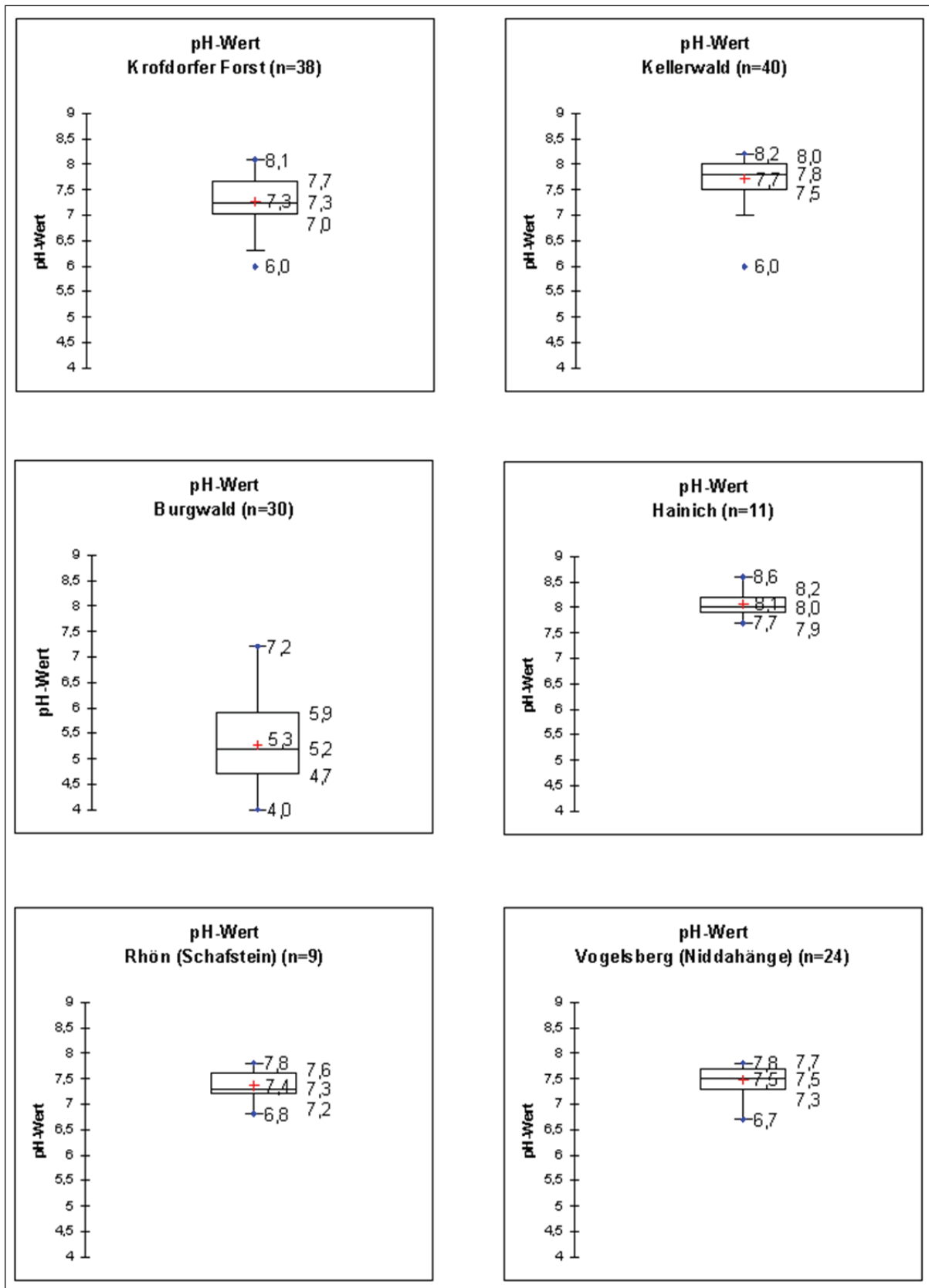


Abb. K5-11: Box-Whisker-Plots der pH-Werte der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet. Eigene Darstellung

Die Hälfte (50%) der untersuchten Quellen im Burgwald sind als schwach bis mäßig sauer zu bezeichnen. Über ein Drittel (36,7%) der Quellen sind mäßig bis stark sauer. Lediglich eine Quelle ist stark sauer sowie 3 Quellen neutral bis schwach alka-

lich. Ein statistischer Zusammenhang mittels Korrelation mit der Waldform ergab keinen signifikanten Zusammenhang, wenn man alle pH-Werte pro Quelle einbezieht. Bei Betrachtung des Mittelwertes nach Einteilung in Waldform-Klassen liegt im Nadelwald der pH-Wert bei 4,8, im Mischwald bei pH 5,2 und im Quell-/Bruchwald bei pH 5,3. Ein statistischer Zusammenhang zwischen pH-Wert und Exposition besteht nach Korrelation der Einzeldaten nicht und auch die Mittelwerte nach Himmelsrichtungen lassen keinen kausalen Zusammenhang erkennen.

Die Quellen im Muschelkalk des Hainichs liegen im Mittel bei pH 8,1 (Median pH 8,0) mit Extremwerten von pH 8,6 und pH 7,7 und sind damit ausnahmslos schwach alkalisch. In der Rhön (Schafstein) und im Vogelsberg (Niddahänge) sind die Quellen der tertiären Basalte fast identisch. Am Schafstein liegt der Mittelwert bei pH 7,4 (Median pH 7,3) mit Extremwerten von pH 7,8 und pH 6,8. Die Quellen der Niddahänge haben einen Mittelwert von pH 7,5 (Median pH 7,5) und Extremwerte von pH 7,8 und pH 6,7. Somit können alle Quellen in der Rhön und im Vogelsberg nach der pH-Wert-Klassifikation in Tab. K5-2 als neutral bis schwach alkalisch bezeichnet werden, wobei die schwach alkalischen Quellen ( $\text{pH} > 7$ ) dominieren.

### Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit der Gesamtanzahl der Quellen (Abb. K5-12) hat einen Mittelwert von 236 Mikrosiemens pro Zentimeter ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), bei einer Spannweite von  $1520 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , wobei das Maximum bei  $1580 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  und das Minimum bei  $60 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  liegt. Die statistischen Ausreißer (Anzahl: 15 = 9,9%) liegen über  $520 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , d.h. 89,9% der untersuchten Quellen liegen innerhalb einem Leitfähigkeitsbereichs von 60 bis  $520 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

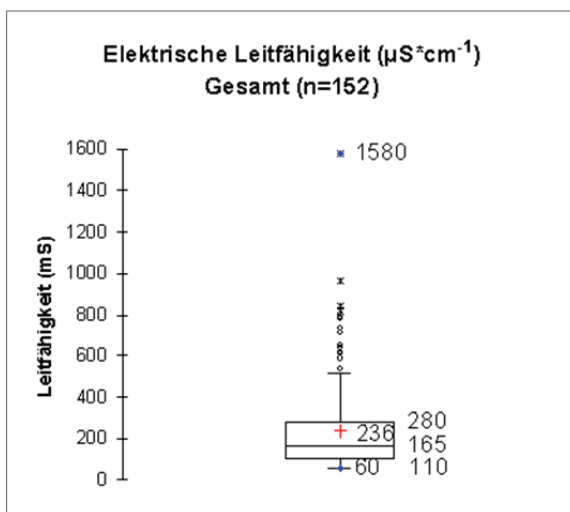


Abb. K5-12: Box-Whisker-Plot der elektrischen Leitfähigkeit aller untersuchten Quellen. Eigene Darstellung

Der Vergleich der Untersuchungsgebiete zeigt sich für die elektrische Leitfähigkeit (Abb. K5-13), dass anhand der Spannweite und der Mittelwerte 4 Gruppen gekennzeichnet werden können. Die erste Gruppe sind der Krofdorfer Forst und der Kellerwald, mit Mittelwerten von  $200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Krofdorfer Forst) und  $322 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  sowie Spannweiten von  $530 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Krofdorfer Forst) und  $850 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Kellerwald). Im Burgwald (zweite Gruppe) liegt der Mittelwert bei  $144 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  und die Spannweite beträgt  $170 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Die Quellen der Rhön (Schafstein) und des Vogelsbergs (Niddahängen) bilden mit den niedrigsten Mittelwerten von  $96 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  und  $89 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  und den niedrigsten Spannweiten von jeweils  $50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  die dritte Gruppe. Der höchste Mittelwert ist mit  $738 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  im Hainich (4. Gruppe) zu finden, wobei hier mit  $1270 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  auch die größte Spannweite festzustellen ist.

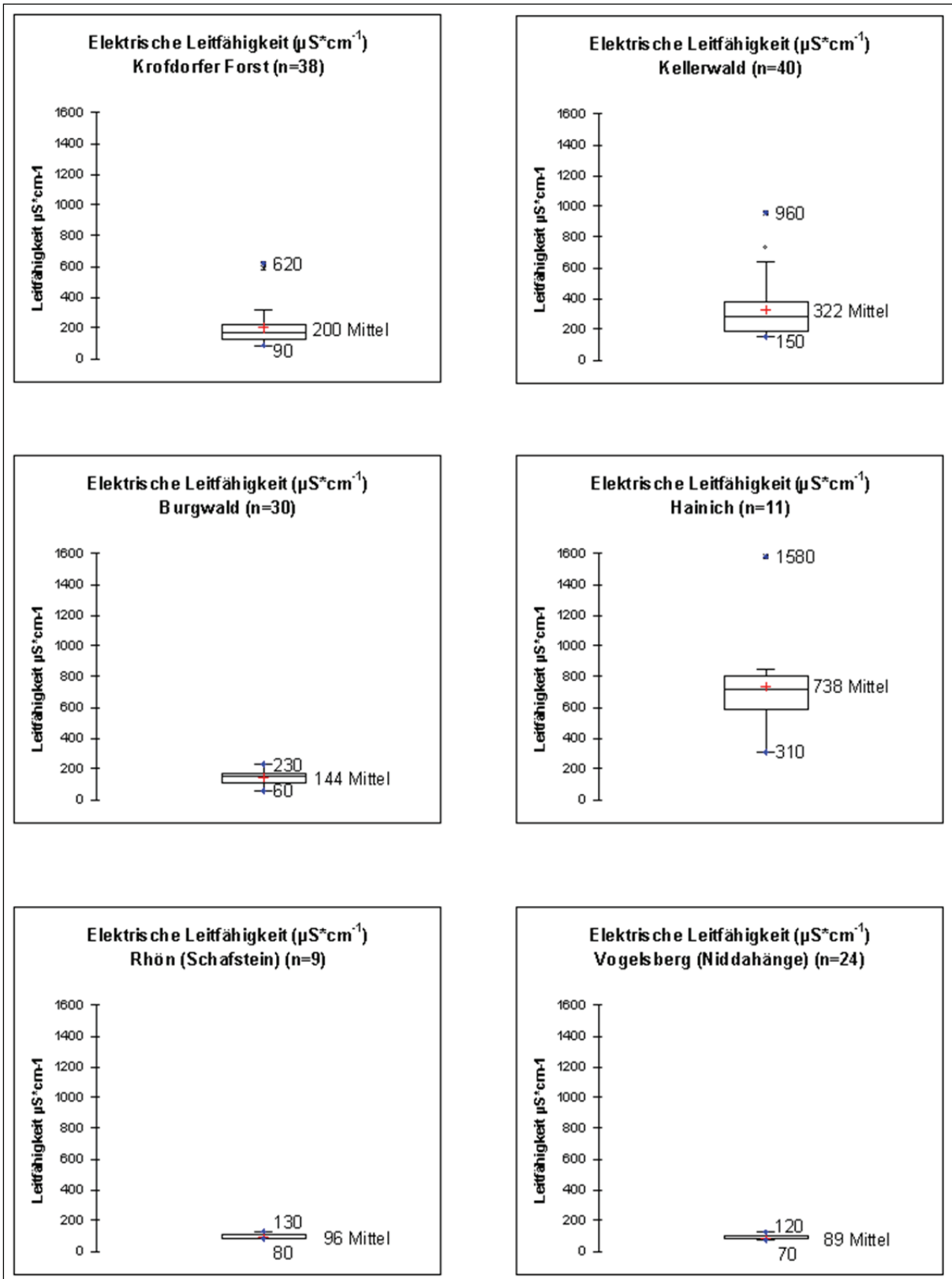


Abb. K5-13: Box-Whisker-Plots der elektrischen Leitfähigkeit der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet. Aus Darstellungsgründen sind der Median sowie das 0,25- und das 0,75-Quantil nicht mit angegeben. Eigene Darstellung



### Sauerstoffgehalt und Sauerstoffsättigung

Die Analyse der Quellen aller Untersuchungsgebiete (Abb. K5-14) zum Sauerstoffgehalt zeigt eine sehr große Streuung (Spannweite: 13,0 mg/l) der Messergebnisse, zwischen einem Maximum von 14,8 mg/l und einem Minimum von 1,8 mg/l. Der Mittelwert liegt bei 8,2 mg/l (Median 8,4 mg/l).

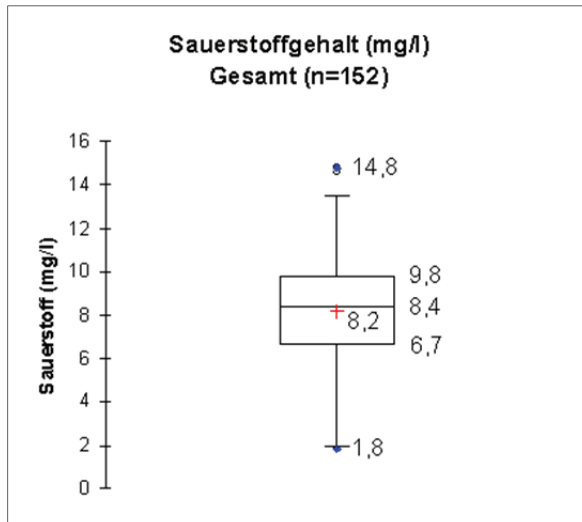


Abb. K5-14: Box-Whisker-Plot des Sauerstoffgehaltes aller untersuchten Quellen.  
Eigene Darstellung

Der Vergleich des Sauerstoffgehaltes nach Untersuchungsgebieten (Abb. K5-15) zeigt als Streumaß zum Teil große Spannweiten, jedoch ist die Streuung gegenüber der Gesamtbetrachtung (Abb. K5-14) auch gebietsweise deutlich geringer (z.B. Hainich und Vogelsberg). Hier werden auch hohe Mittelwerte mit Sauerstoffgehalten von 9,5 mg/l (Hainich) und mit 9,5 mg/l (Vogelsberg) erreicht. Die Maxima liegen im Hainich bei 11,7 mg/l und im Vogelsberg bei 11,0 mg/l. Minima werden mit 6,5 mg/l im Hainich und 5,3 mg/l im Vogelsberg erreicht. Die Mittelwerte im Krofdorfer Forst (8,1 mg/l) und im Kellerwald (8,5 mg/l) liegen etwas niedriger, haben jedoch hohe Spannweiten (Krofdorfer Forst: 12,1 mg/l; Kellerwald: 10,9 mg/l), mit Maximumwerten von 14,6 mg/l (Krofdorfer Forst) und 14,8 mg/l (Kellerwald) sowie Minimumwerten von 2,5 mg/l (Krofdorfer Forst) und 3,9 mg/l (Kellerwald). Die Quellen am Schafstein (Rhön) weichen deutlich vom Untersuchungsgebiet im Vogelsberg ab. In der Rhön liegt der Mittelwert mit 7,5 mg/l niedriger und auch hier ist die Spannweite mit 6,8 mg/l höher. Das Maximum liegt hier bei 10,4 mg/l und das Minimum bei 3,6 mg/l. Der niedrigste Mittelwert ist im Burgwald mit 6,6 mg/l festzustellen, bei einer Spannweite von 11,7 mg/l sowie einem Maximum von 13,5 mg/l und einem Minimum von 1,8 mg/l (niedrigster Wert aller untersuchten Quellen).

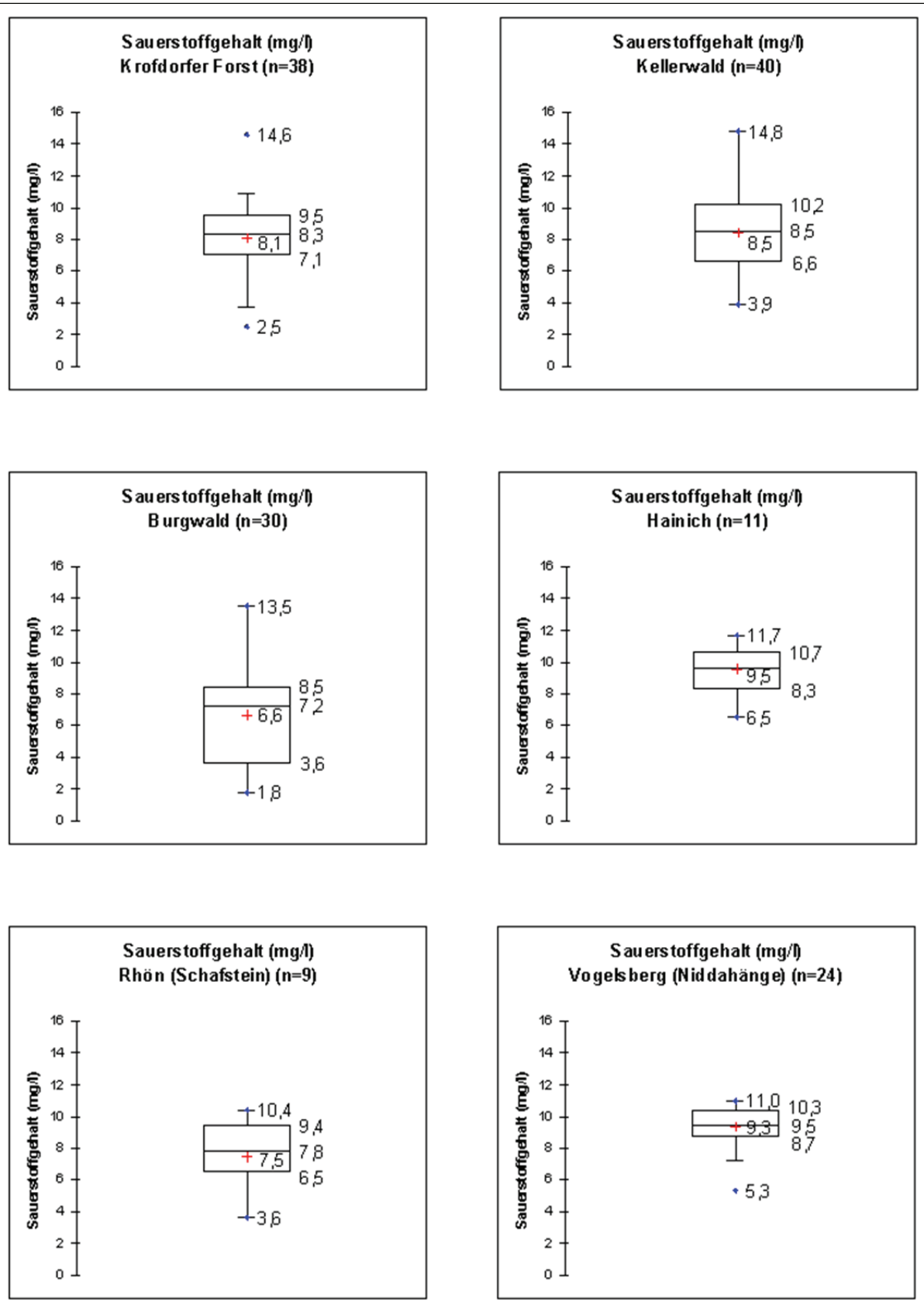


Abb. K5-15: Box-Whisker-Plots des Sauerstoffgehalts der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet. Eigene Darstellung

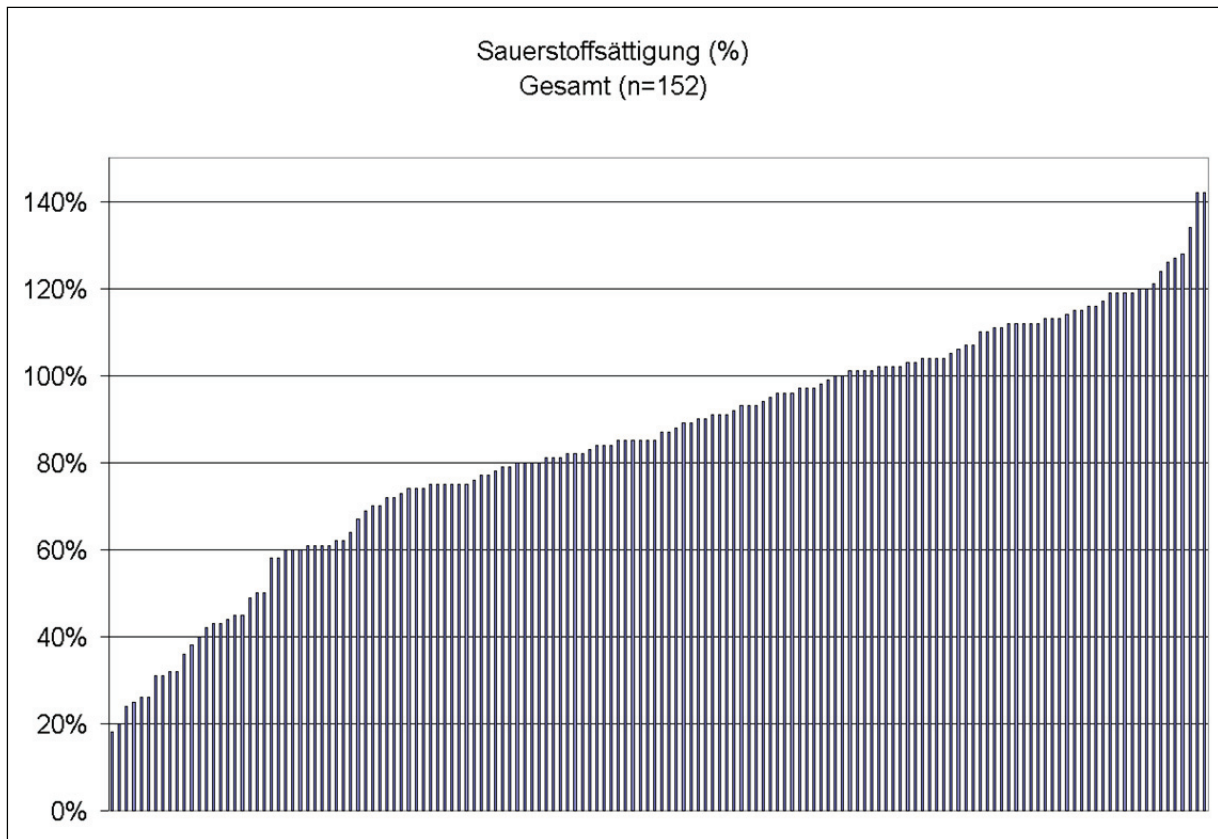


Abb. K5-16: Sauerstoffsättigung aller untersuchten Quellen. Jeder Balken repräsentiert eine Quelle, die von links nach rechts aufsteigend (Sättigung in %) sortiert sind. Eigene Darstellung

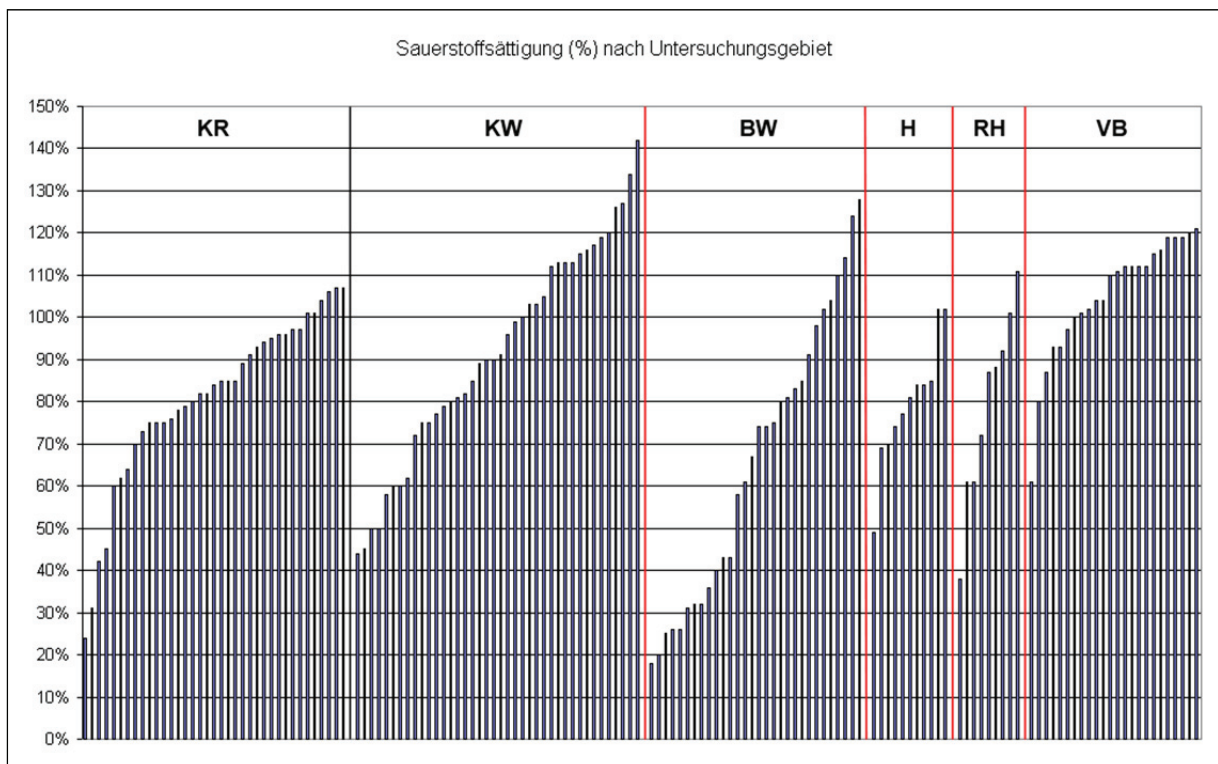


Abb. K5-17: Sauerstoffsättigung aller untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet. Abkürzungen: KW: Kellerwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein). Eigene Darstellung

Eine regionale Betrachtung der Sauerstoffsättigung (Abb. K5-17) nach Untersuchungsgebieten zeigt, dass vor allem die Quellen im Vogelsberg (Niddahänge) überwiegend mit Sauerstoff (70,8% der Quellen) übersättigt sind und insgesamt hohe Sättigungswerte aufzeigen (geringe Spannweite = Max: 121%; Min: 61%). Im Kellerwald sind 40% der Quellen mit Sauerstoff übersättigt, wobei hier eine hohe Spannweite zu erkennen ist (Max: 142%; Min: 44%). Eine insgesamt mittlere Sauerstoffsättigung zeigt sich im Krofdorfer Forst bei über 80% der Quellen, wobei 15,8% der Quellen übersättigt sind. Auch im Hainich und in der Rhön am Schafstein sind mittlere Sättigungsverhältnisse (um 70% der Quellen) vorherrschend, mit einem Anteil an übersättigten Quellen, die im Hainich 18,2% und in der Rhön 22,2% betragen. Die Quellen im Burgwald zeigen die höchste Spannweite (Max: 128%; Min: 18%), wobei 20% der Quellen an Sauerstoff übersättigt sind.

### Organoleptische Kennzeichnung

Mit der Sinnesprüfung (Geruch, Geschmack, Färbung und Trübung) des Quellwassers konnte an allen 152 Quellen keine Auffälligkeiten festgestellt werden, d.h. organoleptische Hinweise auf wasserchemische Belastungen konnten nicht festgestellt werden.

### 5.1.3 Hydrologisch-gewässertypologische Kennzeichnung

Die im Quellbereich sichtbaren und zum Teil messbaren Angaben zum Quelltyp (Arealgröße, Austrittsform, Sondertyp, Umgebungslagetyp, Quellanordnung und Quellgeländeform) sowie zur Quellschüttung werden zur hydrologisch-gewässertypologische Kennzeichnung herangezogen.

#### Arealgröße

Die durchschnittliche (Mittelwert) Arealgröße aller untersuchten Quellen liegt bei 4 m<sup>2</sup>, wobei 49,3% der Quellen unterhalb und 25% oberhalb des Mittelwerts (25,7% der Quellen) liegen. Eine Übersicht der Arealgrößen gibt Tab. K5-3.

Arealgröße	Anzahl der Quellen absolut	Anzahl der Quellen relativ
0,5 m <sup>2</sup>	1	0,7%
1 m <sup>2</sup>	22	14,5%
2 m <sup>2</sup>	51	33,5%
3 m <sup>2</sup>	1	0,7%
4 m <sup>2</sup>	39	25,6%
6 m <sup>2</sup>	24	15,7%
8 m <sup>2</sup>	2	1,3%
9 m <sup>2</sup>	3	2,0%
12 m <sup>2</sup>	4	2,6%
14 m <sup>2</sup>	1	0,7%
20 m <sup>2</sup>	3	2,0%
80 m <sup>2</sup>	1	0,7%
Gesamt	152	100%

Tab. K5-3: Arealgröße aller untersuchten Quellen

#### Austrittsform (limnologischer Quelltyp)

Eine Einteilung von 7 Austrittsformen bzw. Quelltypen wurde nach Geländebefund vorgenommen. Diese sind in Tab. K5-4 definiert sowie deren Anzahl dargestellt.



Die Sumpf- und Sickerquellen (Helokrenen) sind der dominante Quelltyp, mit einem relativen Anteil von 79,6%. Die anderen Austrittsformen sind deutlich unterrepräsentiert, lassen sich jedoch nachweisen. Die Rheohelokrene (GERECKE 1991) ist ein Mischtyp, die Merkmale von Rheokrene und Helokrene besitzt, aber nicht eindeutig einen dieser Haupttypen zuzuordnen ist. Vor allem in stärker geneigten Hanglagen der Mittelgebirge kommen Sickerquellenbereiche vor, die weniger diffus, sondern punktueller in einen sumpfigen Bereich zu Tage treten und vor allem am Ende eines sumpfig-nassen Bereichs ein deutliches Quellbachgerinne ausbilden (Abb. K5-18). Im Kellerwald und im Krofdorfer Forst ist dieser Typ besonders in stark bis schroff geneigten Hängen mit tief eingeschnittenen Kerbtälern anzutreffen.

	Helokrene	Rheohelokrene	Helolimnokrene	Rheokrene	Limnokrene	Sondertyp	Technokrene
Austrittsform	Diffus flächenhaft in einen sumpfig-nassen Quellbereich	Quellmund ± punktuell in einen sumpfig-nassen Quellbereich	Diffus flächenhaft in einen tümpelartigen Quellbereich	Fallend	Am Grund oder Rand eines Stillgewässers	± punktuell in eine torfmoosdominierte Moorfläche mit Stillwassercharakter	Verändert durch technischen Verbau
Hangneigung	Variabel	Schroff (>15°) bis Stark (7-15°)	Schwach (0-2°)	Schroff (>15°)	Schwach (0-2°)	Schwach (0-2°)	Variabel
Hanglage	Variabel	Mittelhang	Tiefebene, Hochebene	Unterhang (Talkante)	Tiefebene	Tiefebene	Variabel
Strömung	Überwiegend laminar, z.T. nicht feststellbar	Laminar, seltener turbulent	Nicht feststellbar	Turbulent	Nicht feststellbar	Nicht feststellbar	Variabel
Vegetation	Milzkrautflur, Cardamine amara-Gesellschaft, Brachythecium rivulare-Bestände, Sphagnum	Meist vegetationslos, sehr selten Milzkrautflur oder Impatiens noli-tangere	Gelegentlich Veronica beccabunga, Lemna minor	Meist vegetationslos, vereinzelt Moospolster	Vegetationslos	Sphagnum	Variabel, häufig nur Moospolster
Anzahl der untersuchten Quellen	121	10	4	2	2	1	12

Tab. K5-4: Quelltypen nach Austrittsform aller untersuchten Quellen



Abb. K5-18: Beispiel einer Rheohelokrene im Krofdorfer Forst. Foto-Aufnahmen: M.Reiss, 1.8.2008 (Größenvergleich im Bild des rechten Teils: Zentimetermaßstab=1m im Quellbereich). Linker oberer und unterer Teil: Kerbtal in einem schroff geneigten Hang



Der Mischtyp Helolimnokrene wird hier als neuer Zwischentyp vorgeschlagen. Ausschlaggebend ist, dass keine eindeutige Zuordnung zu Limno- bzw. Helokrene vorgenommen werden kann, da Merkmale beider Quelltypen auftreten. In Abb. K5-19 ist ein Beispiel einer Helolimnokrene im Burgwald zu sehen, wo zunächst das Wasser in Form einer kleinen Helokrene an die Erdoberfläche gelangt (linker, unterer Abschnitt in Abb. K5-19), jedoch nach wenigen Zentimetern den Charakter eines seichten Stillgewässers annimmt, der nur noch im Randbereich der Wasserfläche Sicker- oder Sumpfquellenmerkmale hat. Dieser Mischtyp kann hier in ebenen Flächen auf Kuppen- oder in Tieflagen festgestellt werden.



Abb. K5-19: Beispiel einer Helolimnokrene im Burgwald. Foto-Aufnahmen: M.Reiss, 5.6.2008

### Sondertypen

Quell-Sondertypen werden hier im Sinne besonderer chemisch-physikalischer oder substratspezifischer Eigenschaften verstanden. Besondere chemisch-physikalische Quelltypen wie Thermal-, Sol- oder Eisenoockerquellen wurden nicht gefunden. Ein substratspezifischer Sondertyp mit einer bedeutenden Flächenausprägung konnte am Fuße der Blockakkumulation des Schafsteins in der Rhön festgestellt werden (Abb. K5-20). Es handelt sich hierbei um einen Quellaustritt innerhalb einer vermoorten Fläche eines Karpatenbirkenwaldes. Mineralische Substratauflagen sind nicht sichtbar, denn der Quellbereich ist mit einer mindestens 1m mächtigen Torfmoosauflage (*Sphagnum*) bedeckt. Dieser Sondertyp wurde deshalb in Tab. K5-4 auch als Sondertyp nach der Austrittsform herausgestellt, da keine Zuordnung zu den anderen Quelltypen möglich ist. Im Burgwald konnten zwei Quellen im unmittelbaren Eukrenal ebenfalls mit Torfmoosauflage festgestellt werden, die allerdings nach der Austrittsform deutlich sichtbar als Helokrenen zu kennzeichnen sind.





Abb. K5-20: Sondertyp einer (Karpaten-)Birkenwald-Moorquelle. Foto-Aufnahmen: M.Reiss, 27.5.2008 (Größenvergleich im oberen Bild: Zentimetermaßstab=1m). Linker unterer Teil: Blockakkumulation Schafstein. Rechter unterer Teil: Blick auf den Karpatenbirkenwald, im Hintergrund die Blockakkumulation des Schafsteins

### Umgebungslagetyp

141 Quellen (92,8%) der untersuchten Quellen liegen ausnahmslos in geschlossenen Wald- oder Forstflächen. Lediglich 9 Quellen (5,9%) befinden sich am Waldrand und jeweils eine Quelle liegt in einer Lichtung sowie innerhalb eines Feldgehölzes (maximal 100m breite Gehölzinsel).

### Anordnung der Quellen

134 Quellen (88,1%) von 152 untersuchten Quellen sind Einzelquellen, die durch einen punktuellen Wasseraustritt an die Erdoberfläche gekennzeichnet sind. 14 Quellen (9,2%) sind Bestandteil einer räumlich eng zusammenhängenden Quellgruppe, mit mehreren (mindestens 2) Einzelquellen. 4 Quellen können nicht klar zugeordnet werden und sind als diffuse Austritte (kleine Blänken) eher den Einzelquellen zuzuordnen.

### Geländemorphologie der Quellen

Die Geländeform des Quellbereichs als Talanfangstyp (AHNERT 1996) lässt sich anhand der Ausprägung einer Quellmulde kennzeichnen. Eine Darstellung der Geländemorphologie der untersuchten Quellen zeigt Tab. K5-5.

Geländeform	Anzahl der Quellen absolut	Anzahl der Quellen relativ
keine Quellmulde	61	40,1%
Quellmulde im Ansatz vorhanden	36	23,7%
deutliche Quellmulde	45	29,6%
Quelltümpel (kein Talanfang)	1	0,7%
künstlich überprägt	9	5,9%
Gesamt	152	100%

Tab. K5-5: Geländeform der untersuchten Quellen

### Quellschüttung

Direktmessung mittels eines Gefäßes war an 4 Quellen möglich, ansonsten wurden Schätzungen vorgenommen. Die Messungen ergaben vornehmlich geringe bis mittlere Schüttungswerte von 0,02 l/s bis 0,2 l/s. Die Ergebnisse zu allen untersuchten Quellen sind in Tab. K5-6 dargestellt. Die Mehrzahl der Quellen hat eine sehr geringe bis geringe Schüttung (113 Quellen inklusive der gemessenen Quelle = 74,3%).

Bezeichnung	Schüttung	Anzahl der Quellen absolut	Anzahl der Quellen relativ
stehendes Wasser	<0,05 l/s	33	21,7%
gering	ca. 0,05 l/s	77	50,7%
mittel (deutlich quellend)	0,2-0,5 l/s	36	23,7%
stark, schießend	>0,5 l/s	6	3,9%
Gesamt		152	100%

Tab. K5-6: Schüttung der untersuchten Quellen

Die Quellschüttungswerte zeigen regionale Unterschiede (Abb. K5-21). Die Quellen im Krofdorfer Forst, im Kellerwald, im Burgwald und der Rhön sind vor allem durch sehr geringe und geringe Quellschüttungen gekennzeichnet. Das trifft weitestgehend auch für die Quellen im Vogelsberg zu, jedoch ist der Anteil mittlerer und starker Schüttungen zusammen genommen aber deutlich höher vertreten. Im Hainich ist der Anteil mittlerer und starker Quellschüttungen anteilmäßig am höchsten im Vergleich zu den anderen Untersuchungsgebieten.

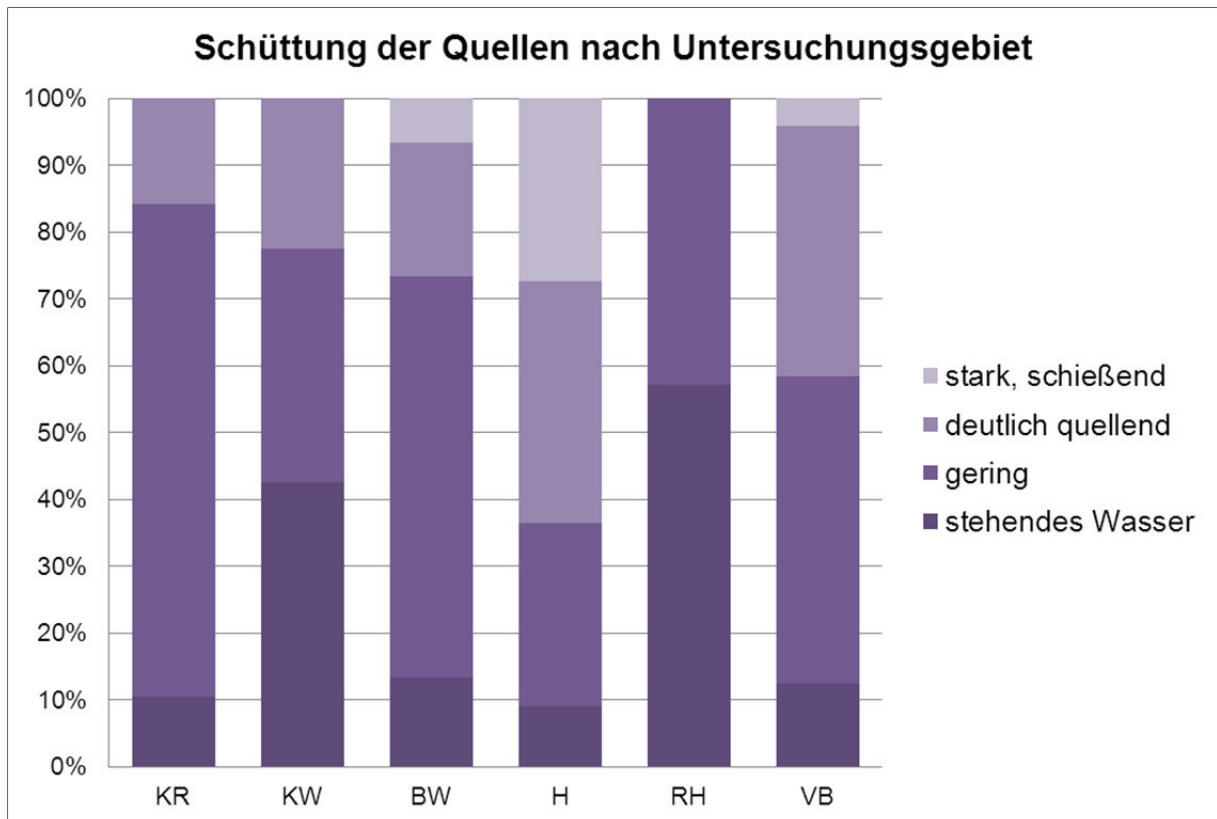


Abb. K5-21: Schüttung der untersuchten Quellen nach Untersuchungsgebiet. Abkürzungen: KW: Kellertwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein). Klassifizierung siehe Tab. K5-6. Eigene Darstellung

#### 5.1.4 Substrate und Gewässermorphologie

##### Substrattypen

Es konnten insgesamt 18 verschiedene Substrate festgestellt werden, inklusive zwei künstlicher Substrate, d.h. insgesamt konnten 16 natürliche Substrate kartiert werden. Durchspülte Feinwurzeln konnten als einziges organisches Substrat nicht festgestellt werden. Weitere, zusätzliche Substrattypen die nicht im Erfassungsprogramm festgelegt wurden, konnten ebenfalls nicht festgestellt werden. Eine Übersicht und exemplarische Darstellung der vorgefundenen Substrate geben die Abb. K5-22 für mineralische Substrate und Abb. K5-23 für organische Substrate. Die Beschreibung der Substrate findet sich in den Tab. K4-5 und Tab. K4-6 in Kapitel 4.



**Argyllal** ↓



**Psammal** ↓



**Psammopelal** ↓



**Akal** ↓



**Mikrolithal** ↓



**Mesolithal** ↓



**Makrolithal** ↓



**Megalithal** ↓



**Offener Verbau** ↓



**Geschlossener Verbau** ↓



Abb. K5-22: Mineralische Substrate der untersuchten Quellen. Eigene Darstellung



**Emerse Makrophyten ↓**



**Submerse Makrophyten ↓**



**Moospolster ↓**



**Xylal ↓**



**CPOM ↓**



**Nadelstreu ↓**



**FPOM ↓**



**Algen ↓**

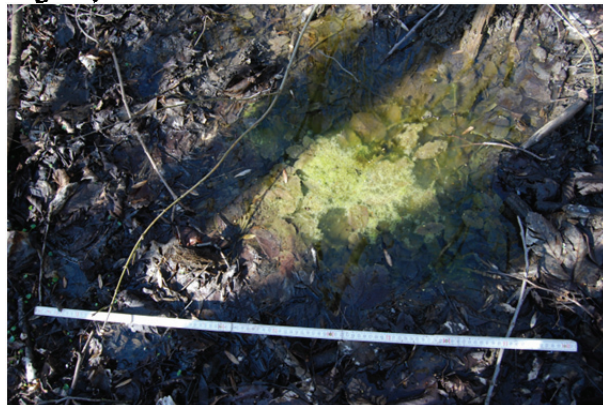


Abb. K5-23: Organische Substrate der untersuchten Quellen. Eigene Darstellung



### Substratvorkommen

Welche mineralischen Substrate mit welchem quantitativen Vorkommen an allen Quellen festgestellt werden konnten zeigt Abb. K5-22. Ein Überblick zum Vorkommen der organischen Substrattypen gibt Abb. K5-23. In beiden Abb. wurde der Sondertyp ohne feststellbare mineralische Substratauflage, aufgrund der Vergleichbarkeit, herausgenommen, so dass die betrachtete Gesamtzahl der Quellen 151 beträgt. Zunächst wird lediglich ein Überblick vermittelt, welche Substrate wie häufig vorkommen, ohne auf die Deckungsgrade einzugehen.

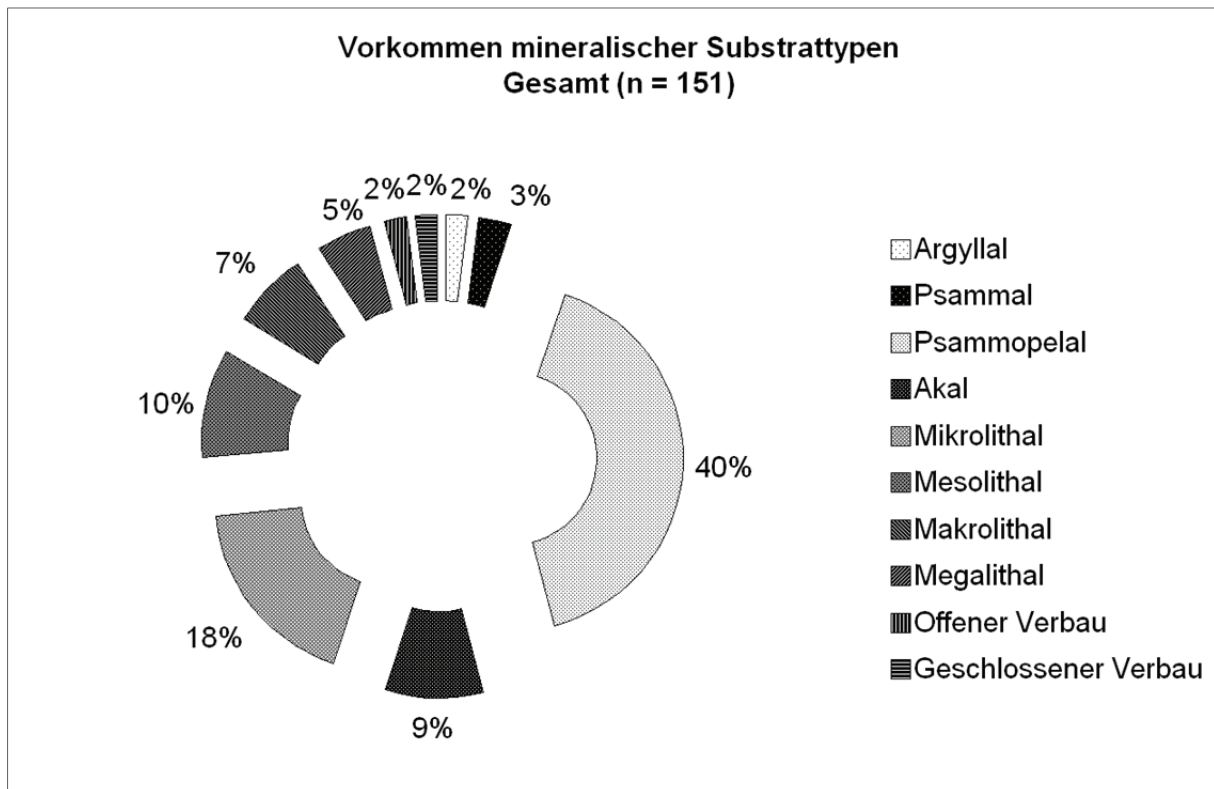


Abb. K5-24: Vorkommen der mineralischen Substrattypen aller untersuchten Quelle (ohne Sondertyp). Eigene Darstellung

In Abb. K5-24 wird ersichtlich, dass bei Betrachtung der Gesamtzahl der untersuchten Quellen (ohne Sondertyp), die grobkörnigen mineralischen Substrate (Akal, Mikro-, Meso-, Makro- und Megalithal) mit 51% Vorkommen gegenüber den feinkörnigen mineralischen Substraten (Argyllal, Psammal, Psammopelal) mit 45% Vorkommen leicht überwiegen. Künstliche Substrate (Verbau) sind mit 4% Vorkommen vertreten. Nimmt man die künstlichen Substrate aus dem Datensatz heraus, so ist das Verhältnis zwischen dem Vorkommen der feinkörnigen zu den grobkörnigen Substrattypen 47% zu 53%. Häufigster Einzelsubstrattyp ist das feinkörnige Psammopelal (Lehm oder Schlamm) mit 40% Vorkommen. Die einzelnen grobkörnigen Substrattypen sind jeweils etwas häufiger vertreten, als die übrigen feinkörnigen Substrattypen (Argyllal, Psammal). Häufigster vorkommender grobkörniger mineralischer Substrattyp ist das Mikrolithal (Grobkies) mit 18%.

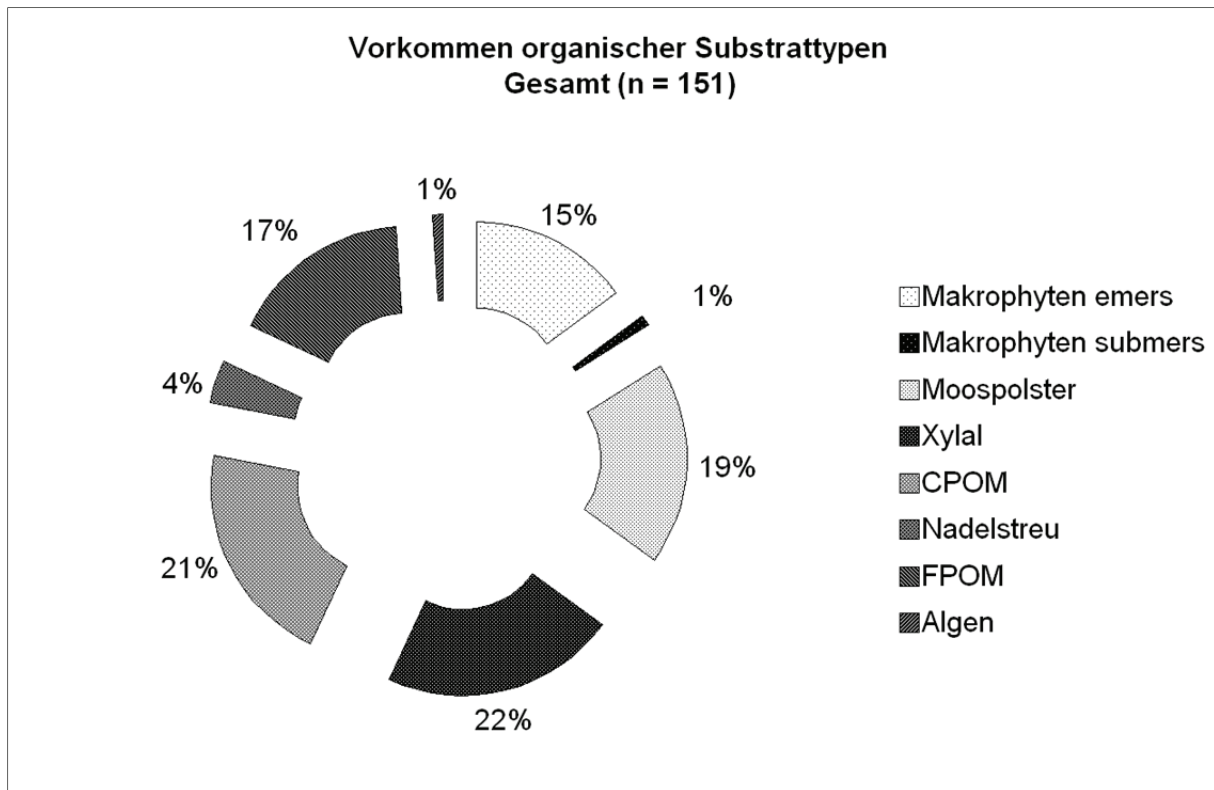


Abb. K5-25: Vorkommen der organischer Substrattypen aller untersuchten Quelle (ohne Sondertyp). Eigene Darstellung

Die Darstellung der organischen Substrattypen in Abb. K5-25 zeigt zunächst keine eindeutige Dominanz im Vorkommen eines einzelnen Substrattyps. Häufigstes organisches Substrat ist mit 22% das Xylal (Totholz), wobei auch das grobpartikuläre organische Material (CPOM) mit 21% ähnlich präsent ist. Mit 19% Vorkommen sind Moospolster als Substrattyp am dritthäufigsten vertreten. Das feinkörnige organische Material (FPOM oder Feindetritus) zeigt ein Vorkommen von 17% an der Gesamtzahl der Quellen. An etwas mehr als ein Siebtel (15%) der Quellen sind emerse Makrophyten anzutreffen. Alle weiteren organischen Substrate (Nadelstreu, Algen und submerse Makrophyten) können in ihrem Vorkommen als unterrepräsentiert bezeichnet werden.

Hinsichtlich regionaler Unterschiede des Vorkommens der Substrattypenverteilung bei den mineralischen Substraten gibt es deutlichere Unterschiede, als das für die organischen Substrattypen der Fall ist. Die Quellen am Schafstein (Rhön) nehmen eine gewisse Sonderstellung ein, da hier die Nähe zur Blockakkumulation deutlich wird. Insgesamt ist das Vorkommen feinkörniger Substrattypen im Burgwald am höchsten. Grobkörnige Substrattypen dominieren in ihrem Vorkommen im Vogelsberg (Niddahänge) und im Kellerwald. Im Krofdorfer Forst, Hainich und in der Rhön (Schafstein) ist das Verhältnis zwischen fein- und grobkörnigen Substrattypen einigermaßen ausgeglichen. Das Vorkommen organischer Substrattypen zeigt dagegen insgesamt wenig regionale Unterschiede bzw. die Abweichungen sind eher nuanciert. Lediglich das Vorkommen von Nadelstreu ist im Burgwald deutlicher ausgeprägt als in den anderen Untersuchungsgebieten.

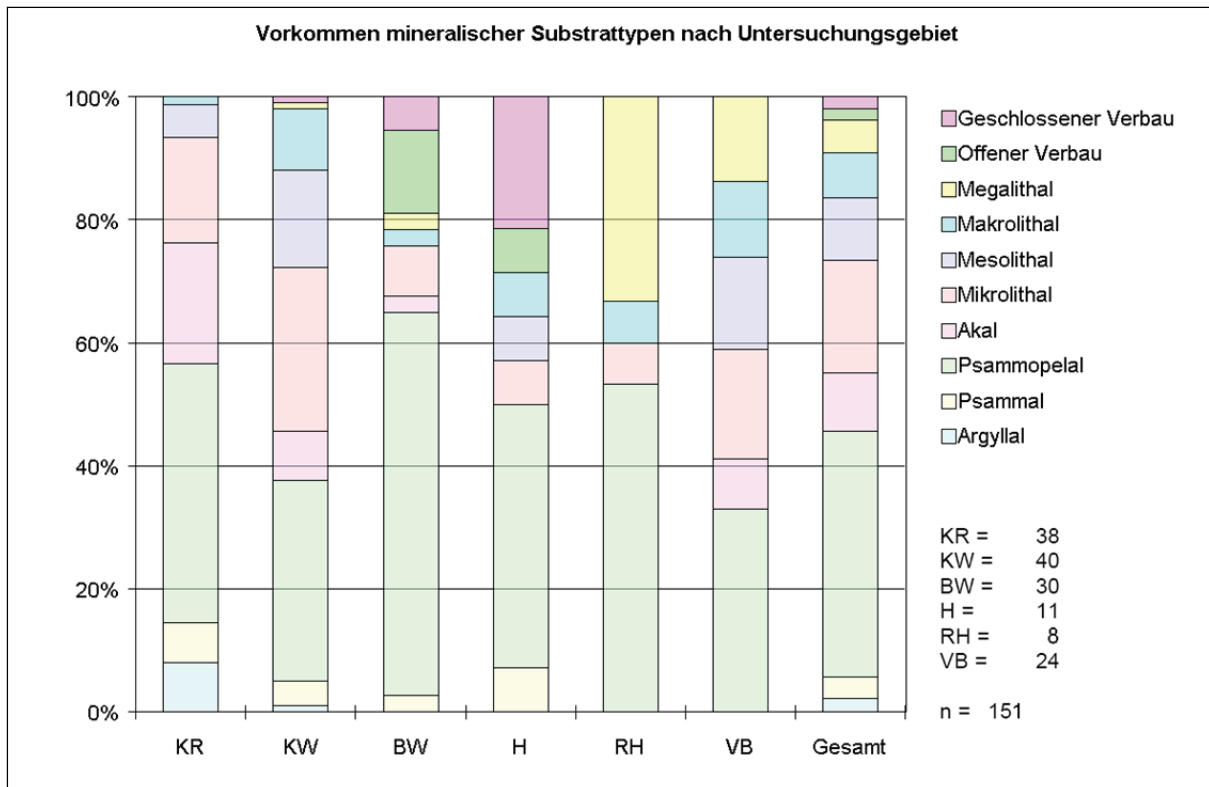


Abb. K5-26: Vorkommen der mineralischen Substrattypen nach Untersuchungsgebiet (ohne Sondertyp). Abkürzungen: KW: Kellerwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein). Eigene Darstellung

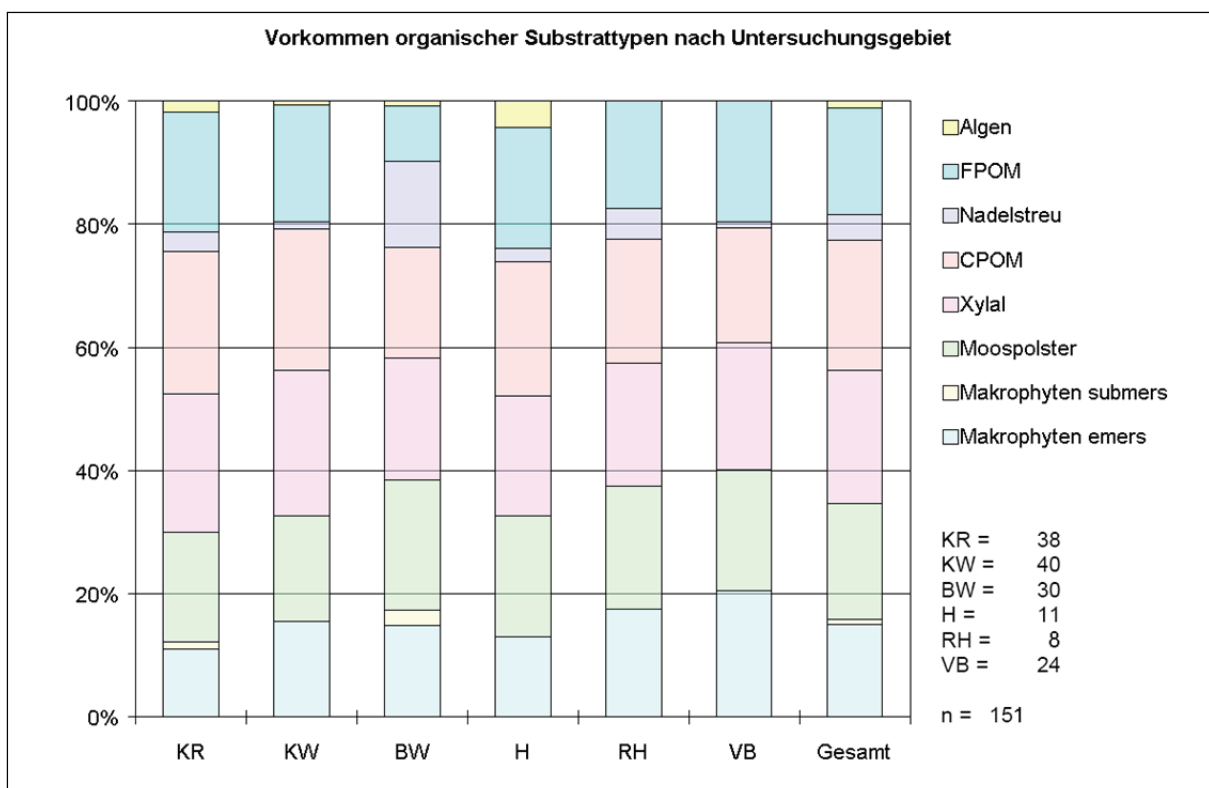


Abb. K5-27: Vorkommen der organischen Substrattypen nach Untersuchungsgebiet (ohne Sondertyp). Abkürzungen: KW: Kellerwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein). Eigene Darstellung



### Substratvielfalt

Die Betrachtung der Substratvielfalt, also welche und wie viele Substrattypen pro Untersuchungsgebiet im Durchschnitt vorkommen, richtet sich nach dem Vorkommen natürlicher Substrate. Künstliche Substrate werden herausgenommen, da ansonsten der Verbau von Quellen als zusätzliche quantitative Aufwertung der Substratvielfalt ins Gewicht fallen würde, was hier als inkonsequent angesehen wird, wenn eine weitestgehend naturnahe Gewässerstruktur zu kennzeichnen ist. Die Berechnung erfolgt anhand der pro Quelle in einem Untersuchungsgebiet erfassten Anzahl an natürlichen Substrattypen, aus dem ein arithmetisches Mittel gebildet wird. Es kann deshalb auch von einer mittleren Substratvielfalt gesprochen werden (mittlere Anzahl von Substraten pro Quelle je Untersuchungsgebiet). Auch hier wurde der Sondertyp nicht berücksichtigt.

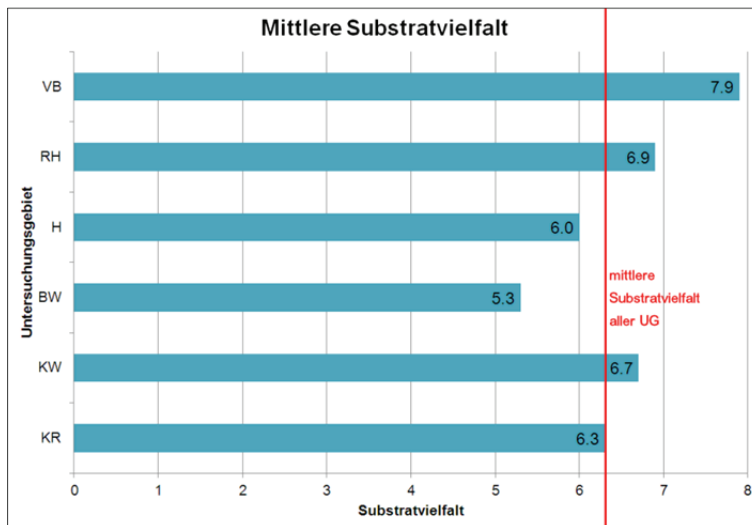


Abb. K5-28: Mittlere Substratvielfalt der untersuchten Quellen (ohne Sondertyp, ohne künstliche Substrate) nach Untersuchungsgebiet. Abkürzungen: KW: Kellerwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein), UG: Untersuchungsgebiete. Eigene Darstellung

Die mittlere Substratvielfalt beträgt für alle Untersuchungsgebiete zusammen 6,3 Substrate pro Quelle (Abb. K5-28). Die Quellen im Burgwald (5,3) und im Hainich (6,0) liegen in der mittleren Substratvielfalt unter diesem Mittelwert. Die Quellen im Krofdorfer Forst (6,3) entsprechen diesem Mittelwert. Die höchste mittlere Substratvielfalt ist für die Quellen der Niddahänge im Vogelsberg (7,9) festzustellen. Ebenfalls über dem Durchschnitt aller untersuchten Quellen liegen die Untersuchungsgebiete Schafstein in der Rhön (6,9) und Kellerwald (6,7).

Die mittlere Substratvielfalt nach Waldformtypen unterteilt zeigt Abb. K5-29. Die höchste mittlere Substratvielfalt ist mit 6,8 Substrattypen pro Quelle im Laubwald vorzufinden, gefolgt vom Mischwald mit einer Substratvielfalt von 5,9, Quell-/ Bruchwald mit 5,6 sowie Nadelwald mit der niedrigsten Substratvielfalt von 5,0 Substrattypen pro Quelle.

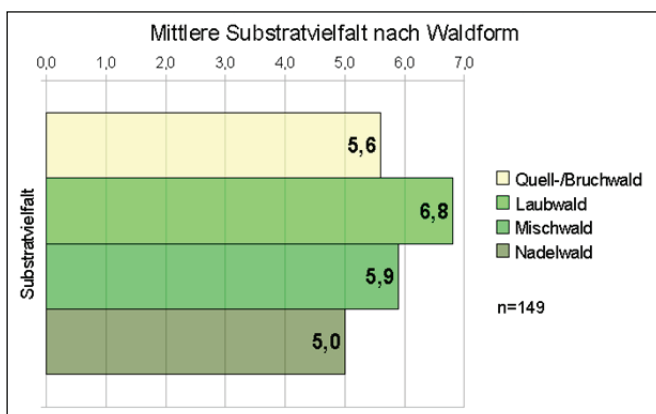


Abb. K5-29: Mittlere Substratvielfalt nach der Waldform aller untersuchten Quellen (ohne Sondertyp, ohne künstliche Substrate). Drei Quellen lassen sich nicht einem dominierenden Waldformtyp zuordnen (jeweils zwei Viertelkreissegmente mit einem anderen Waldformtyp). Eigene Darstellung

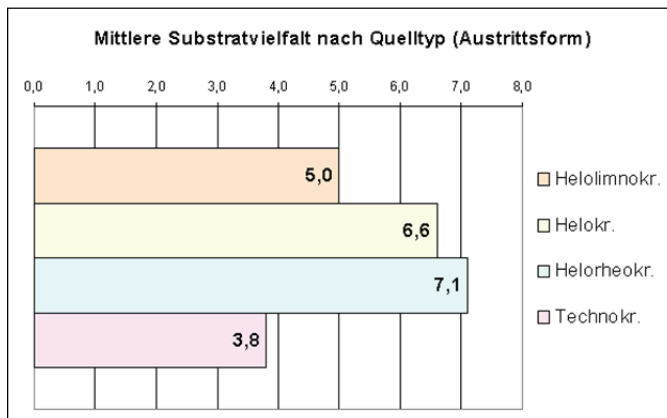


Abb. K5-30: Mittlere Substratvielfalt nach dem Quelltyp aller untersuchten Quellen (ohne Sondertyp, ohne künstliche Substrate) der repräsentativen Quelltypen. An den Technokrenen wurden nur die vorkommenden natürlichen Substrate in die Berechnung einbezogen. Eigene Darstellung

Die mittlere Substratvielfalt nach den unterschiedlichen Austrittsformen des Wassers, d.h. in Kennzeichnung der hydromorphologischen Quelltypen (Abb. K5-30) lässt deutliche Unterschiede erkennen. Zum einen sind markante Ungleichheiten zwischen natürlichen und technisch veränderten, künstlichen Quelltypen sichtbar. Gefasste Quellen (Technokrene) besitzen eine deutlich geringere Substrattypenvielfalt als natürlich ausgeprägte Quellen. Allerdings gibt es andererseits innerhalb der natürlichen Quelltypen, die ausgewertet wurden (Helolimnokrene, Helokrene und Helorheokrene), ebenfalls erhebliche Unterschiede der Substratvielfalt (vgl. Abb. K5-30). Helolimnokrenen zeigen eine geringere mittlere Substratvielfalt als Helo- und Helorheokrene.

### Deckungsgrade der Substrattypen

Die mittleren Deckungsgrade wurden gemäß Tab. K4-8 (Kap.4) den jeweiligen Einzelobjekten (Quelle) und Substrattypen zugeordnet, um deren Deckungsgrad pro Untersuchungsgebiet nach deren arithmetischen Mittel zu erhalten.

Die Analyse der mineralischen Substrattypen aller untersuchten Quellen (Abb. K5-31) zeigt eine deutliche Dominanz des Psammopelal mit 50,2 % Deckungsgrad, d.h. Lehm oder Schlamm ist als feinkörniges Material der bedeutendste Substrattyp der ausgewerteten Quellen. Das Mikrolithal (Grobkies) hat mit 19,9 % Deckungsgrad bereits eine geringere Bedeutung, auch wenn dieser grobkörnige Substrattyp gegenüber den restlichen, seltenen Substrattypen hervortritt. Insgesamt überwiegen feinkörnige Substrattypen mit 54 % Deckungsgrad gegenüber den grobkörnigen Substrattypen mit 46 % nur wenig. Die Ergebnisse der mittleren Deckungsgrade der organischen Substrattypen (Abb. K5-32) zeigen, dass vor allem das grobpartikuläre organische Material (CPOM) mit 36,5 % das bedeutendste organische Substrat ist. Emerse Makrophyten (19,7 %), Totholz (Xylal; 12,3 %) und Moospolster (10,2 %) sind zwar weniger bedeutend, tragen jedoch insgesamt zu einer geringeren Dominanz eines Substrattyps bei, wie das bei den mineralischen Substrattypen der Fall ist. Eine Betrachtung der Ergebnisse zu den mittleren Deckungsgraden nach Untersuchungsgebiet (Abb. K5-33 und Abb. K5-34) zeigt regionale Unterschiede.

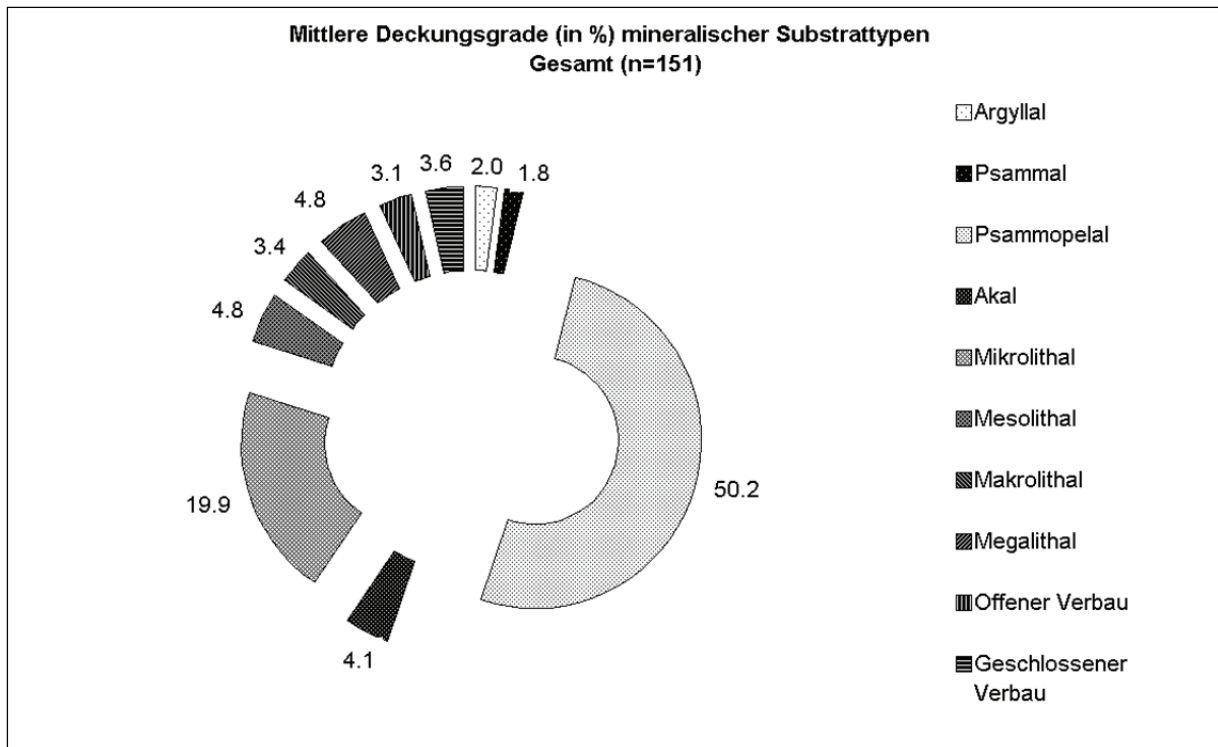


Abb. K5-31: Mittlere Deckungsgrade der mineralischen Substrattypen aller untersuchten Quellen (ohne Sondertyp). Eigene Darstellung

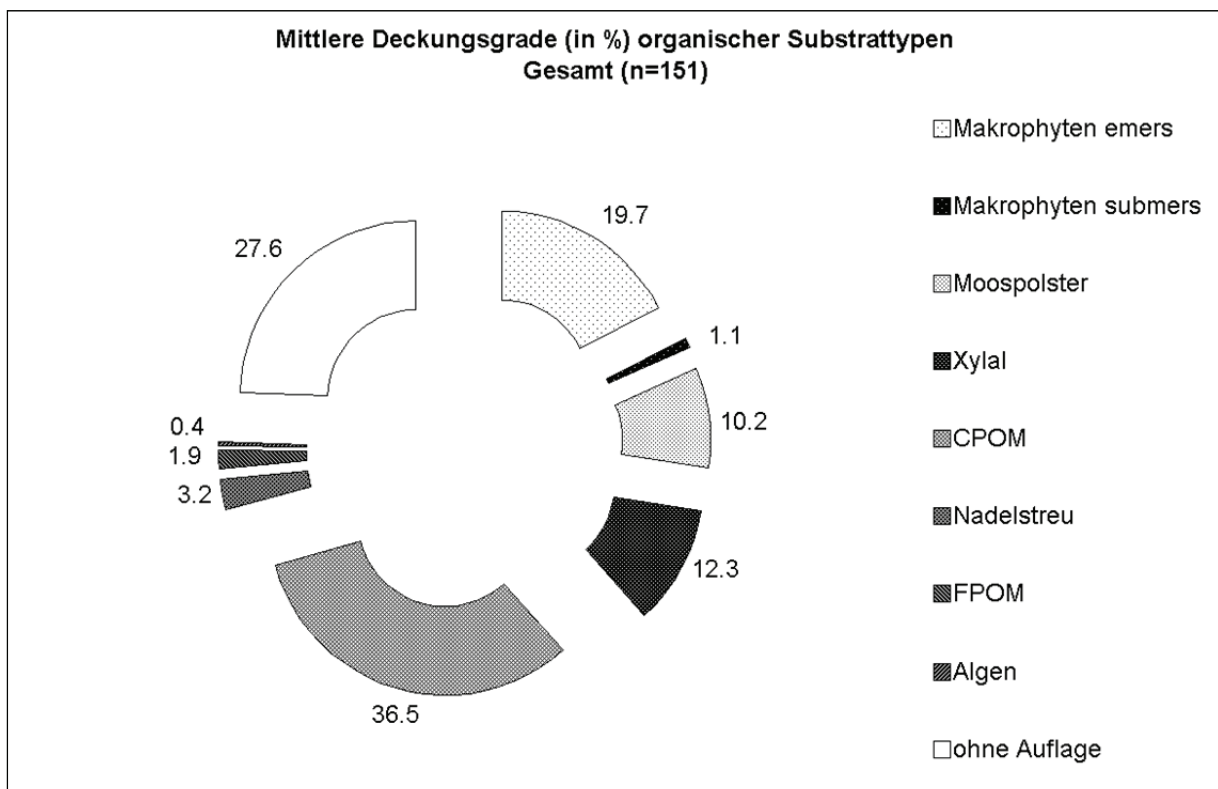


Abb. K5-32: Mittlere Deckungsgrade der organischen Substrattypen aller untersuchten Quellen (ohne Sondertyp). Eigene Darstellung

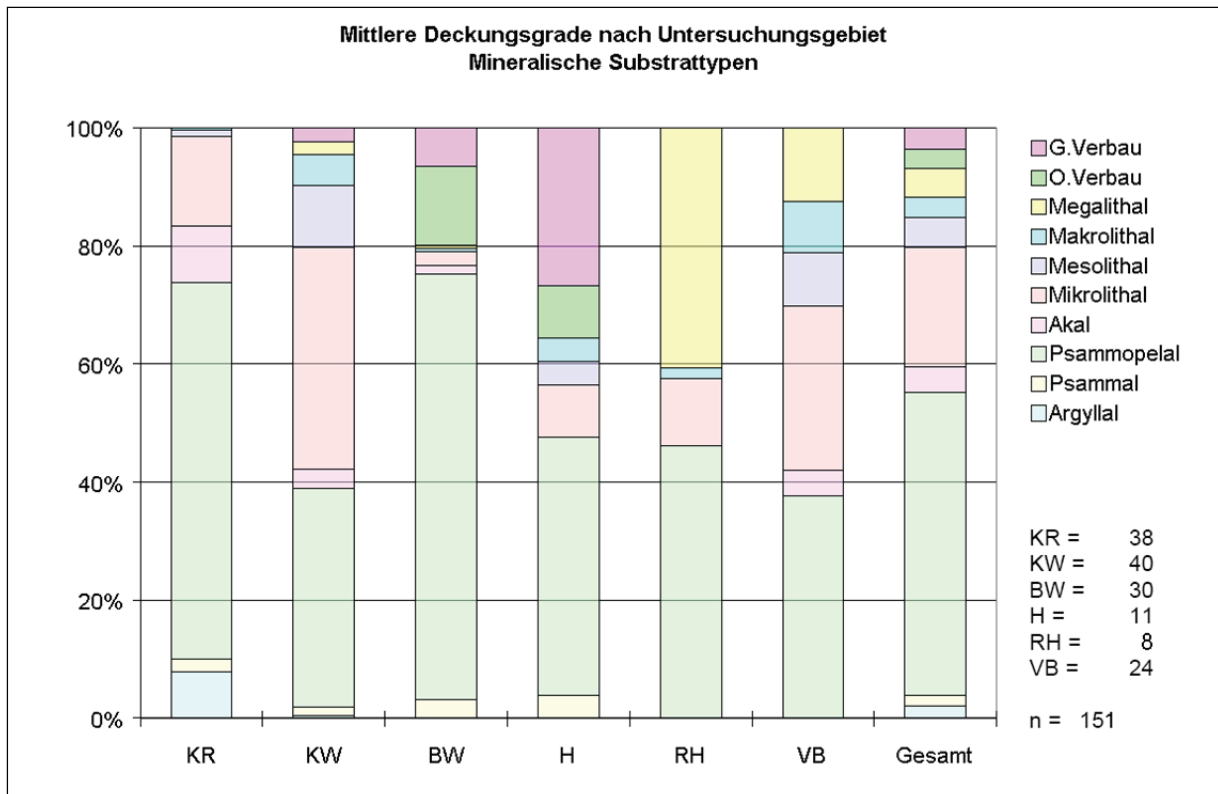


Abb. K5-33: Mittlere Deckungsgrade der mineralischen Substrattypen nach Untersuchungsgebiet (ohne Sondertyp). Abkürzungen: KW: Kellerwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein).  
Eigene Darstellung

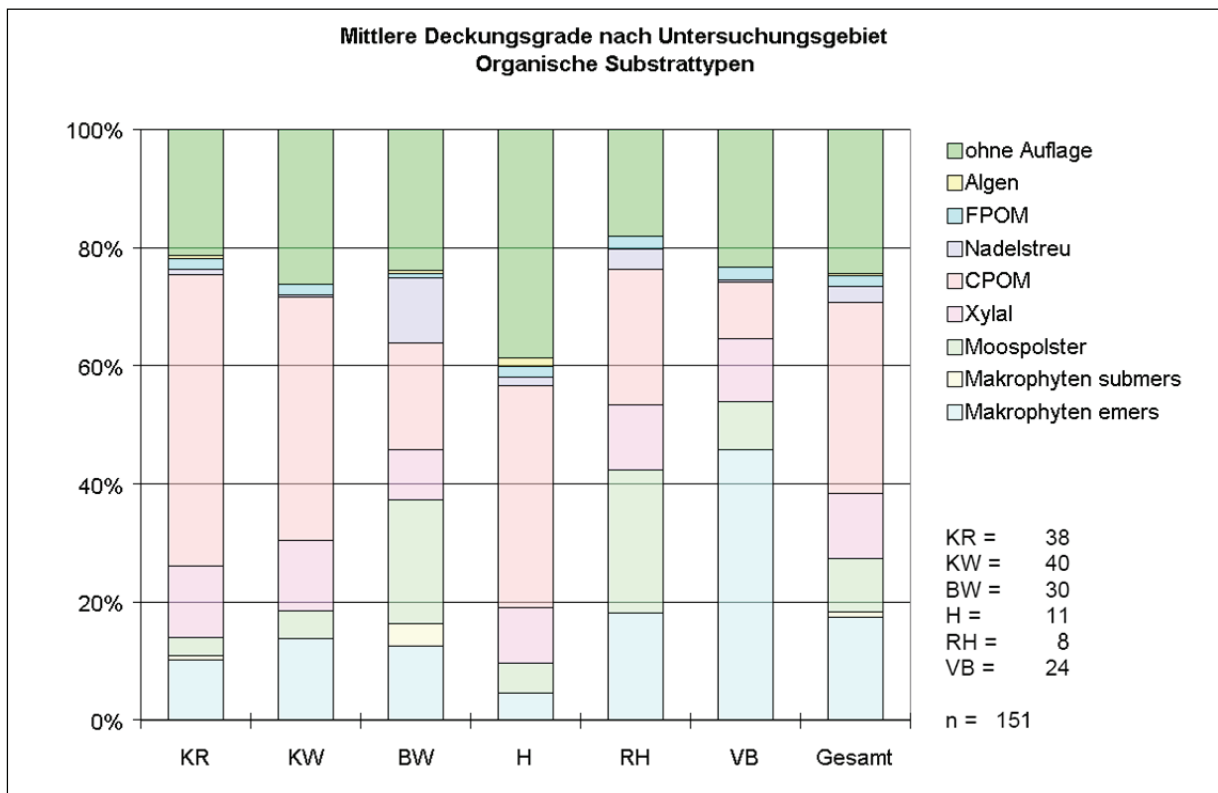


Abb. K5-34: Mittlere Deckungsgrade der organischen Substrattypen nach Untersuchungsgebiet (ohne Sondertyp). Abkürzungen: KW: Kellerwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein).  
Eigene Darstellung



### Verhältnis aquatisch zu amphibisch/terrestrisch-hygrophil

Das Verhältnis zwischen aquatischen und amphibisch/terrestrisch-hygrophilen Teillebensräumen wird als gewässermorphologisches Kriterium in Bezug zur ausgewiesenen Arealgröße des Eukrenals dargestellt (Tab. K5-7). Vor dem Hintergrund der Interpretation von Faunafunden kann der Flächenanteil aquatischer und amphibisch/terrestrisch-hygrophiler Bereiche als wichtige Information herangezogen werden. Letztendlich wird die Repräsentanz der jeweiligen Teilbereiche für das Eukrenal strukturell quantifiziert.

Untersuchungsgebiet	Anteil aquatischer Bereich (%)	Anteil amphibisch/terrestrisch-hygrophiler Bereich (%)
Krofdorfer Forst	24	76
Kellerwald	15	85
Burgwald	33	67
Hainich	45	55
Rhön (Schafstein)	20	80
Vogelsberg (Niddahänge)	23	77
Gesamt	24	76

Tab. K5-7: Verhältnis aquatischer zu amphibisch/terrestrisch-hygrophiler Bereich im Eukrenal nach Untersuchungsgebiet

### Hygropetrische Bereiche

Quellbereiche mit feucht-überrieselten Gesteinen (dünner Wasserfilm), die dem hygropetrischen Teillebensraum zuzuordnen sind (Tab. K5-8), finden sich bei der Gesamtzahl der untersuchten Quellen in deutlicher Ausprägung sehr wenig (9,9%). In geringer Ausprägung sind hygropetrische Bereiche allerdings häufig vertreten (88,1%) und an nur insgesamt 3 Quellen konnten keine hygropetrischen Bereiche festgestellt werden (2%).

Untersuchungsgebiet	keine hygropetrischen Bereiche	wenig hygropetrische Bereiche	deutlich hygropetrische Bereiche
Krofdorfer Forst (n=38)	1	33	4
Kellerwald (n=40)	0	37	3
Burgwald (n=30)	2	22	6
Hainich (n=11)	0	10	1
Rhön (n=9)	0	9	0
Vogelsberg (n=24)	0	23	1
Gesamt (n=152)	3	134	15

Tab. K5-8: Hygropetrische Bereiche im Eukrenal in ihrer Flächenausprägung (Abschätzung) nach Untersuchungsgebiet

### Beeinträchtigungen der Gewässerstruktur

Gefährdungen oder Degradationen, welche die Gewässerstruktur der Quellen beeinträchtigen, werden anhand der Parameter Nutzung, Einleitung, Verfüllung, Veränderung, Verbau, Trittschäden, Fahrspuren, Rodung, Wanderbarrieren und Aufstau beschrieben.

Eine **Nutzung** wurde für insgesamt 5 Quellen als vorhanden festgestellt, wobei alle Nutzungsarten mit einer „touristischen Inwertsetzung“ in Verbindung zu bringen sind. Die Quellen befinden sich an oder in Nähe von Wanderwegen und sind sowohl in Wanderkarten als auch mit Beschilderungen im Gelände mit Namen gekennzeichnet. An zwei Quellen befindet sich ein befestigter Trinkbecher an der Quelle. An allen Quellen liegen weitere gewässermorphologische Degradationen wie Verbau oder Veränderungen, vor.

An 6 von 152 Quellen wurden **Einleitungen** gefunden, wobei in 2 Fällen über eine befestigte Drainage und in 4 Fällen über unbefestigte Weggräben unmittelbar Oberflächenabfluss eingeleitet werden kann.

**Verfüllungen** konnten an zwei Quellen beobachtet werden. Eine Quelle im Nationalpark Kellerwald-Edersee entspringt nur wenige Zentimeter oberhalb eines geschopten Weges, der nicht mehr als Fahrweg genutzt wird, da an zahlreichen Stellen Buchenjüngwuchs (ca. 2m Wuchshöhe) vorzufinden ist. Mehrere kleinere Erosionsrinnen des abfließenden Quellwassers wurden festgestellt. Der Bereich wird offenbar sich selbst überlassen, trotzdem wurde der Wegebau als Verfüllung gekennzeichnet, da er eine künstliche Struktur darstellt. In eine weitere Quelle im Krofdorfer Forst, mit geringem Abstand zu einem Forstwirtschaftsweg (<20 cm), gelangte teilweise allochthones mineralisches Substrat (Wegebauschotter) in den ansonsten vollständig fein-substratdominierten Bereich der Quelle.

**Veränderungen** wurden insgesamt an 5 Quellen im Burgwald und an einer Quelle im Kellerwald festgestellt, wobei es sich ausnahmslos um zusätzliche Verrohrungen im Bereich gefasster Quellen handelt.

Ein technischer **Verbau** wurde an 12 Quellen vorgefunden. Dabei wurde der natürliche Austritt durch künstliche Materialien gefasst. Es kann ein geschlossener Verbau und ein offener Verbau unterschieden werden. Eine geschlossene Fassung erfolgte durch den Bau einer Quellschale, meist aus Betonbauweise, die das Wasser unterirdisch aufnimmt und über einen Auslass an die Erdoberfläche abgibt. Der natürliche Austritt der Quelle ist somit vollständig überbaut. Der offenen Fassung fehlte eine abgeschlossene Quellschale, doch wird auch hier das Wasser meist gesammelt, wobei das Sammelbecken frei zur Atmosphäre ist. Es wurden Betonbauweisen und Trockenmauerbauweisen (ohne künstlichen Mörtel oder Beton) vorgefunden. Die Gewässersohle offener Fassungen hatte meist eine Substratauflage, die aus den Umfeldstrukturen (z.B. organische Einträge wie Laub) stammte. Die verbauten Quellen besaßen zudem häufig Wanderbarrieren wie Abstürze durch Verrohrungen. Häufig ist auch die Gewässersohle künstlich verbaut, so dass es kein offenes Porensystem mehr existiert. Auch eine Verbindung zum Grundwasser ist, d.h. es handelt sich um eine ökologische Wanderbarriere für Organismen. Besonders im Burgwald und im Hainich sind verbaute Quellen angetroffen worden.

Durch Tiere (Rot- und Schwarzwild) verursachte **Trittschäden** sind an 12 Quellen festgestellt worden, allerdings mit geringer Flächendeckung, bezogen auf die Arealgröße des Eukrenals. An einer Quelle im Hainich wurden während der Kartierung Wildschweine angetroffen, allerdings wurden keine Suhlen in den Quellen festgestellt.

**Fahrspuren** wurden an 4 Quellen (3 Quellen im Krofdorfer Forst und 1 Quelle im Naturwaldreservat Niddahänge im Vogelsberg) im unmittelbaren Eukrenal sowie in einem Quellbach festgestellt.

**Rodungen** im Quellbereich und im unmittelbaren Quellumfeld (bis 100m Radius) wurde an 8 Quellen gesichtet, wobei vor allem an 5 Quellen im Krofdorfer Forst Einzelstämme entnommen wurden. Großflächige Kahlschlagflächen wurden nicht angetroffen, allerdings konnte ein im Kartenwerk ausgesuchter Quellbereich im Burgwald aufgrund einer größeren Windwurf Fläche im Gelände nicht untersucht werden, da der Quellaustritt nicht aufzufinden war.

**Wanderbarrieren** wurden an 18 Quellen vorgefunden, wobei 16 künstliche Abstürze und 2 Messwehre (beide im Nationalpark Kellerwald-Edersee) vorgefunden wurden. Ein künstlicher **Aufstau** des Wassers im unmittelbaren Bereich des Eukrenals wurde an 7 Quellen festgestellt sowie in 3 Quellbächen, die sich in naher Distanz (innerhalb der ersten 100 m) zum Austritt der Quelle befanden. Allerdings konnte kein vollständiger Aufstau beobachtet werden. Ein ungehinderter, natürlicher Abfluss war jedoch nicht gegeben.

### 5.1.5 Habitattypen

Die Klassifizierung und Kennzeichnung der Habitattypen erfolgt mit Hilfe eines Entscheidungsbaumes, wobei drei wesentliche Arbeitsschritte bzw. Abfragen zu berücksichtigen sind (Abb. K5-35).

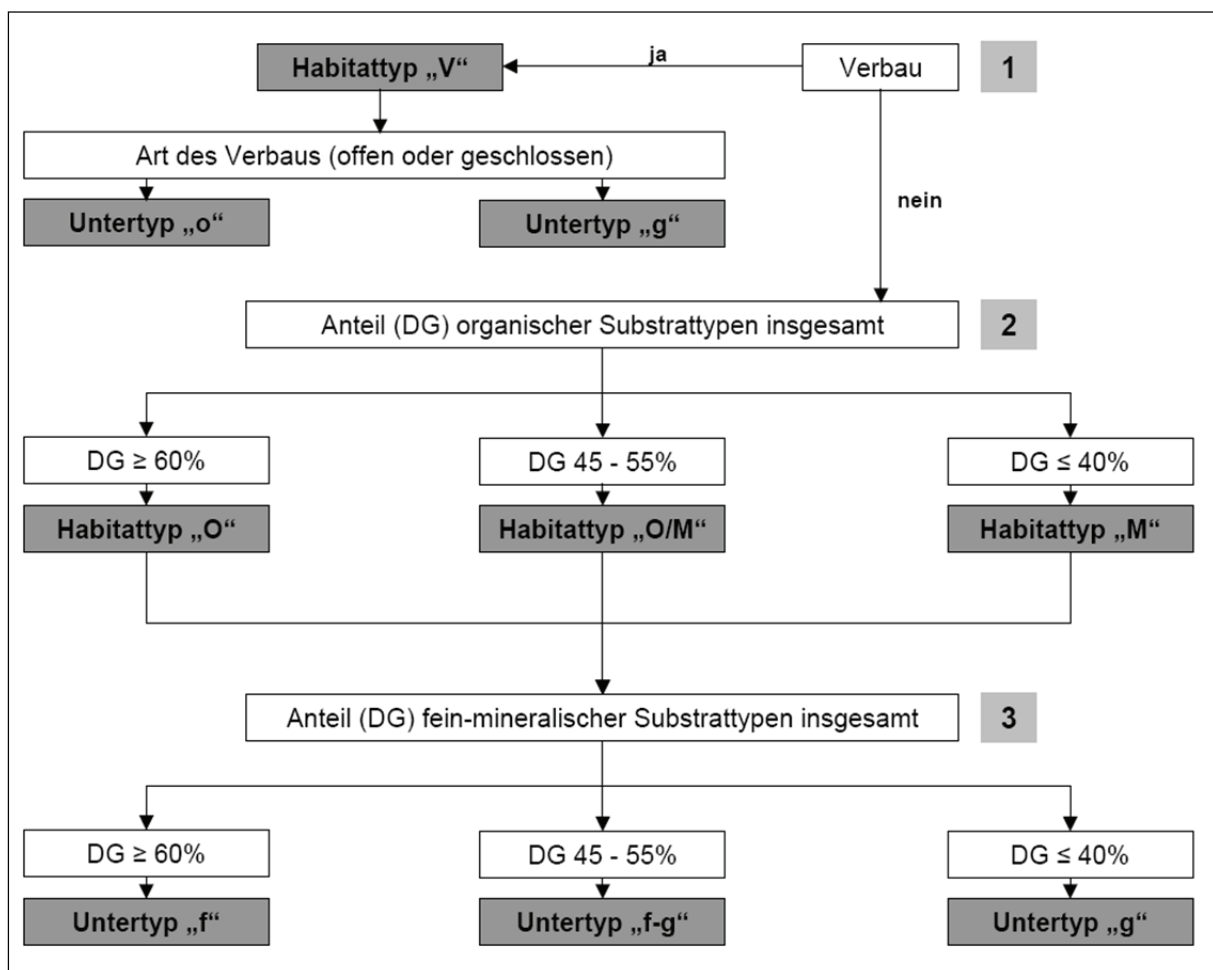


Abb. K5-35: Schema zur Klassifikation der Habitattypen. Abkürzung DG = Deckungsgrad. Eigene Darstellung

Der erste Schritt besteht in der Klassifikation der als Technolithal erfassten Quellen durch Einsortierung verbauter Habitattypen aus dem Datensatz (Habitattyp „V“ = verbauter Habitattyp). Nach der Art des Verbaus werden die beiden Untertypen klassifiziert in „offen verbauter Habitattyp“ (Untertyp „o“) und „geschlossen verbauter Habitattyp“ (Untertyp „g“). Die weiteren, nicht verbauten Quellen aus dem Datensatz werden in einem zweiten Schritt klassifiziert. Hierzu werden alle organischen Substrattypen zusammengefasst um den Gesamtanteil organischer Substrattypen zu ermitteln. Liegt der Gesamtanteil gleich oder größer 60 % Deckungsgrade (DG) wird der Habitattyp als „organischer Habitattyp“ („O“) klassifiziert. Ist der Gesamtanteil der organischen Substrattypen gleich oder kleiner 40 % DG bzw. liegt der Gesamtanteil mineralischer Substrattypen gleich oder größer 60 % DG, so ist der Habitattyp als „mineralischer Habitattyp“ („M“) zu kennzeichnen. Sind die Deckungsgrade nicht eindeutig zuzuordnen (Gesamtanteil der organischen Substrattypen mit DG 45%, 50% und 55%) wird der Habitattyp als „Mischtyp“ deklariert (Habitattyp „O/M“). In einem dritten Schritt erfolgt die Einteilung nach der Dominanz der Gesamtdeckungsgrade fein- und grobkörniger mineralischer Substrattypen. Überwiegen die Substrattypen Argyllal, Psammal und Psammopelal zusammen mit einem Deckungsgrad von 60% und mehr, so erfolgt die Einteilung als Untertyp „f“, d.h. als „feinmaterialreich“. Sind die Substrattypen Akal, Mikro-, Meso- Makro- und Megalithal insgesamt mit 60% und mehr Deckungsgrad dominant bzw. der Gesamtanteil fein-mineralischer Substrattypen gleich oder weniger 40 % DG, so wird der mineralische Substrattyp als Untertyp „g“, d.h. als „grobmaterialreich“ eingestuft. Ist eine deutliche Zuordnung nicht möglich, da das Verhältnis zwischen Fein- und Grobmaterial zwischen 45% zu 55% und 55% zu 45% Deckungsgrade liegt, so wird der Mischtyp *fein- bis grobmaterialreich* (f-g) klassifiziert (Gesamtdeckungsgrade 45%, 50% und 55%).

Folgende Habitattypen lassen somit nach der folgenden Nomenklatur klassifizieren (vgl. Abb. K5-35):

<b>O<sub>f</sub></b>	organisch dominierter, feinmaterialreicher Habitattyp
<b>O<sub>g</sub></b>	organisch dominierter, grobmaterialreicher Habitattyp
<b>O<sub>f-g</sub></b>	organisch dominierter, fein- bis grobmaterialreicher Habitattyp
<b>M<sub>f</sub></b>	mineralisch dominierter, feinmaterialreicher Habitattyp
<b>M<sub>g</sub></b>	mineralisch dominierter, grobmaterialreicher Habitattyp
<b>M<sub>f-g</sub></b>	mineralisch dominierter, fein- bis grobmaterialreicher Habitattyp
<b>O/M<sub>f</sub></b>	Mischtyp (organisch/mineralisch), feinmaterialreicher Habitattyp
<b>O/M<sub>g</sub></b>	Mischtyp (org./min.), grobmaterialreicher Habitattyp
<b>O/M<sub>f-g</sub></b>	Mischtyp (org. /min.), fein- bis grobmaterialreicher Habitattyp
<b>V<sub>o</sub></b>	offen verbauter Habitattyp (Technolithal)
<b>V<sub>g</sub></b>	geschlossen verbauter Habitattyp (Technolithal)



Eine Verteilung der Habitattypen auf die Gesamtzahl der untersuchten Quellen zeigt Tab. K5-9.

Habitattyp	Anzahl absolut	Anzahl relativ	Habitattyp	Anzahl absolut	Anzahl relativ
O	113	74,3%	Of	65	42,8%
			Og	37	24,3%
			Of-g	11	7,2%
M	16	10,6%	Mf	9	5,9%
			Mg	5	3,3%
			Mf-g	2	1,3%
Mischtyp	11	7,2%	O/Mf	5	3,3%
			O/Mg	6	3,9%
			O/Mf-g	-	-
Verbau	11	7,2%	Vo	5	3,3%
			Vg	6	3,9%
Sondertyp	1	0,7%	S	1	0,7%
Insgesamt	152	100%		152	100%

Tab. K5-9: Verteilung der Habitattypen auf alle untersuchten Quellen (n=152)

Eine Verteilung der Habitattypen nach Untersuchungsgebiete zeigt Abb. K5-36.

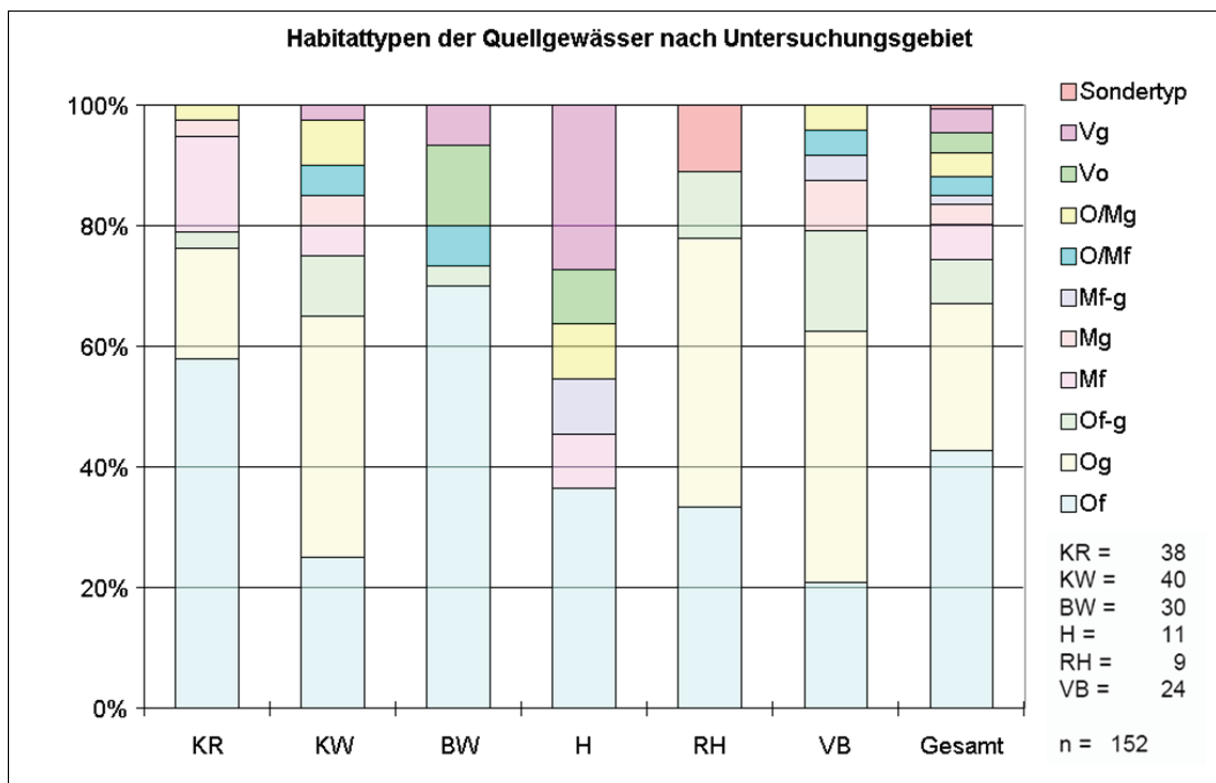


Abb. K5-36: Verteilung der Habitattypen nach Untersuchungsgebiete. Abkürzungen: KW: Kellerwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein). Eigene Darstellung

Eine weitere Differenzierung der Klassifikation ist möglich, in dem der einzelne, dominierende mineralische und organische Substrattyp gekennzeichnet wird. Die Verteilung auf diese Habitattypen insgesamt zeigt Tab. K5-10.

Habitattyp (HT)		Anzahl absolut	Anzahl relativ
<b>O</b>	CPOM dominierter HT	6	3,9%
	CPOM dominierter, argyllreicher HT	3	2,0%
	CPOM dominierter, psammreicher HT	1	0,7%
	CPOM dominierter, psammopelreicher HT	30	19,7%
	CPOM dominierter, akalreicher HT	1	0,7%
	CPOM dominierter, mikrolithreicher HT	15	9,9%
	CPOM dominierter, mesolithreicher HT	1	0,7%
	CPOM dominierter, makrolithreicher HT	1	0,7%
	Makrophyten dominierter HT	4	2,6%
	Makrophyten dominierter, psammopelreicher HT	20	13,2%
	Makrophyten dominierter, mikrolithreicher HT	12	7,9%
	Makrophyten dominierter, mesolithreicher HT	1	0,7%
	Makrophyten dominierter, megalithreicher HT	2	1,3%
	Moospolster dominierter HT	1	0,7%
	Moospolster dominierter, psammopelreicher HT	6	3,9%
	Moospolster dominierter, megalithreicher HT	3	2,0%
	Nadelstreu dominierter, psammopelreicher HT	3	2,0%
	Xylal dominierter, psammopelreicher HT	1	0,7%
	Xylal dominierter, akalreicher HT	1	0,7%
	keine Zuordnung möglich	1	0,7%
<b>M</b>	Psammopelal dominierter HT	9	5,9%
	Mikrolithal dominierter	4	2,6%
	Mesolithal dominierter	1	0,7%
	keine Zuordnung möglich	2	1,3%
<b>O/M</b>	Psammopelal dominierter Mischtyp	5	3,3%
	Akal dominierter Mischtyp	1	0,7%
	Mikrolithal dominierter Mischtyp	3	2,0%
	Mesolithal dominierter Mischtyp	1	0,7%
	Megalithal dominierter Mischtyp	1	0,7%
<b>V</b>	offener Verbau	5	3,3%
	geschlossener Verbau	6	3,9%
<b>S</b>	Sondertyp	1	0,7%
<b>Insgesamt</b>		<b>152</b>	<b>100%</b>

Tab. K5-10: Verteilung der differenzierten Habitattypen auf alle untersuchten Quellen

## 5.2 Biotische Kennzeichnung der Quellstandorte

### 5.2.1 Pflanzen und Vegetation der Quellflur

Es wurden insgesamt 83 pflanzensoziologische Aufnahmen (Revelés) mit zusammen 37 Arten ausgewertet. Zwei Assoziationen können zugeordnet werden (Abb. K5-37). Allerdings unterliegt die Einordnung gewissen Unsicherheiten, die letztendlich den aktuellen Forschungsstand wiedergeben, da der individuelle Charakter silikatischer Waldquellen und die allgemeine Kennartenarmut der Quellfluren eine eindeutige Zuordnung erschwert (BEIERKUHNLEIN 1999). Da für karbonatische Waldquellen (vor allem Helokrene) der montanen Höhenstufe keine Gesellschaften bekannt sind (POTT & REMY 2000) und auch anhand der eigenen Daten keine pflanzensoziologischen Unterscheidungen möglich sind, beschränkt sich die Auswertung ausschließlich auf Silikatquellen und deren Weichwasser-Gesellschaften (Abb. K5-37).

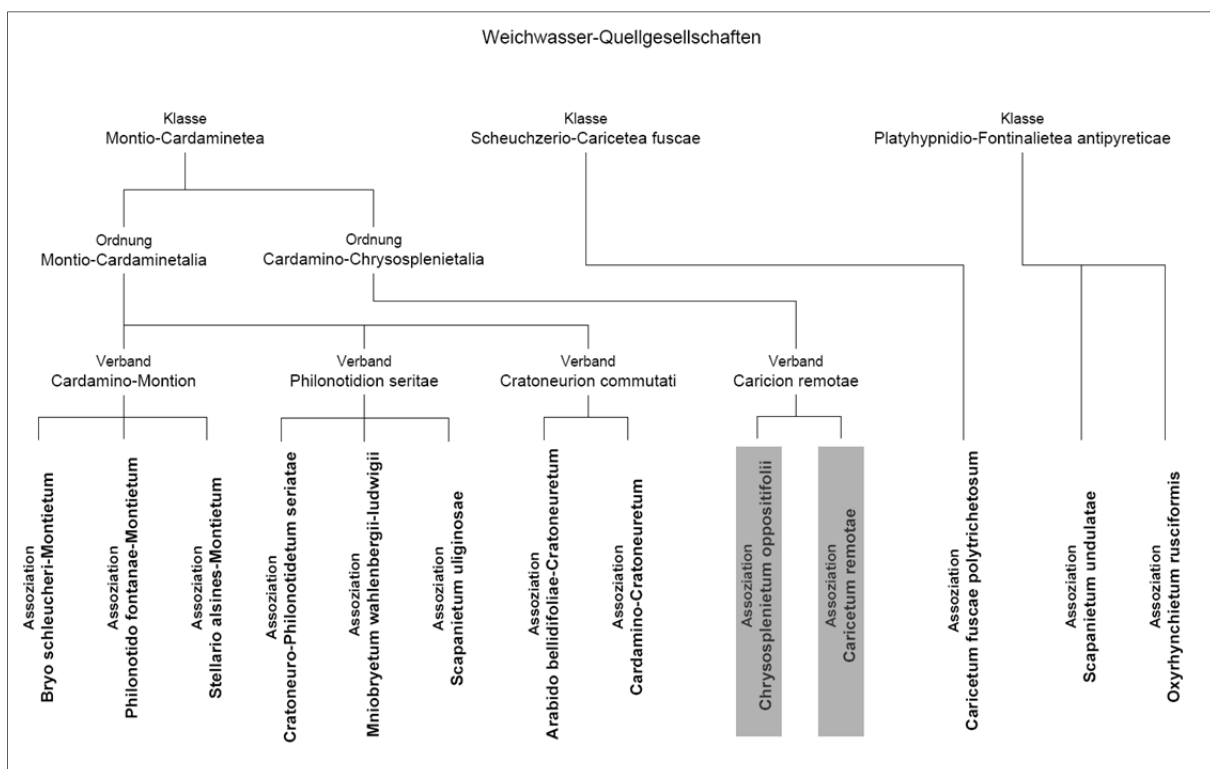


Abb. K5-37: Übersicht zu den Weichwasser-Gesellschaften der Vegetation. Vorkommende Assoziationen sind grau gekennzeichnet. Einteilung nach HINTERLANG (1992). Eigene Darstellung

31 Revelés werden dem Vegetationstyp ***Chrysosplenietum oppositifolii*** (Milzkraut-Quellflur) auf Assoziationsniveau zugeordnet, wobei 26 Aufnahmen (84% der *Chrysosplenietum oppositifolii*) im Laubwald, 4 Aufnahmen im Mischwald und 1 Aufnahme im Nadelwald erfolgte. Charakterart ist *Chrysosplenium oppositifolium* (Gegenblättriges Milzkraut) aus der Familie der Saxifragaceae (Steinbrechgewächse). Die Art gilt als typisch für beschattete, silikatische Wald Quellfluren (HINTERLANG 1992). Die ausgewerteten Vegetationsaufnahmen zeigen keine typische Ausprägung (*typicum*) dieser Assoziation, wenn man hohe Deckungsgrade der Charakterart als Kriterium heranzieht. Allerdings ist eine charakteristische Artenkombination festzustellen (HINTERLANG 1992). Eine Aufnahme in einem lichten Quell-/Bruchwald im Burgwald zeigt eine Tendenz zur Freiland-

Assoziation *Philonotida fontanae-Montietum*, da vor allem *Philonotis fontana* und *Montia fontana* vertreten sind. Da die Assoziation *Philonotida fontanae-Montietum* aber für Weideflächen und Extensivgrünland des Offenlands typisch ist und auch *Chrysosplenium oppositifolium* und *Cardamine armara* deutlich vertreten sind, wurde die Aufnahme dem *Chrysosplenietum oppositifolii* zugeordnet.

21 Revelés werden dem Vegetationstyp ***Caricetum remotae*** (Haingilbweiderich-Winkelseggen-Gesellschaft) auf Assoziationsniveau zugeordnet. Eine typische Ausprägung (*typicum*) zeigen die Aufnahmen nicht, wobei die Assoziation *Caricetum remotae* generell schwer vom *Chrysosplenietum oppositifolii* zu trennen ist, gilt *Carex remota* nicht unbedingt als Charakterart, da sie nicht ausschließlich in Quellfluren eine Hauptverbreitung findet (BEIERKUHNLEIN 1999, HINTERLANG 1992). Allerdings zeigen die Aufnahmen, dass *Carex remota* dominiert und *Chrysosplenium oppositifolium* fehlt. Außerdem handelt es sich um planare bis submontane Quellfluren, so dass die vorgenommene Einteilung begründet ist (HINTERLANG 1992). Neben der pflanzensoziologischen Zuordnung spricht zudem die Überprüfung von Standortbedingungen, wie z.B. niedrigere Sauerstoffgehalte des Quellwassers gegenüber dem *Chrysosplenium oppositifolium* für die Einteilung zur Assoziation *Caricetum remotae* (HINTERLANG 1992).

13 Revelés könnten zum Teil eine mögliche Subassoziation des *Caricetum remotae* darstellen (Abb. K5-28, linker weißer Teil, neben dem violett markierten Tabellenteil), jedoch fehlt *Carex remota* überwiegend und die dominierenden Sphagnum (Torfmoose) konnten nicht auf Artniveau bestimmt werden. Eine Zuordnung auf Assoziationsniveau bleibt daher aus. Eine weitere Interpretationsmöglichkeit ist, diese sphagnumreichen Aufnahmen in der Nähe der *Scheuchzerio-Caricetea fuscae* zu sehen, also in Verbindung zur Gesellschaft der Flach- und Zwischenmoore (BEIERKUHNLEIN 1999). Allerdings fehlen hier typische Vertreter wie *Polytrichum commune* vollständig und diese Quellflurgesellschaft wird in Verbindung mit Standorten in hochmontanen Lagen gebracht. Jedoch fehlen auch typische Vertreter des *Chrysosplenietum oppositifolii*, was wiederum für die Nähe zum *Scheuchzerio-Caricetea fuscae* spricht.

19 weitere Revelés können ebenfalls keiner Assoziation der Waldquellfluren zugeordnet werden (Abb. K5-28, rechter weißer Teil, neben dem rot markierten Tabellenteil). Allerdings weisen einige Aufnahmen typische Begleitarten des *Chrysosplenietum oppositifolii* auf, doch fehlt *Chrysosplenium oppositifolium* in den Aufnahmen vollständig.

Unabhängig einer Auftrennung der Vegetationstypen in Assoziationen zeigen die Aufnahmen des *Chrysosplenietum oppositifolii* und des *Caricetum remotae* typische Vertreter des *Caricion remotae* als Verband der Ordnung *Cardamino-Chrysosplenietalia*. Insgesamt sind 52 Aufnahmen (63%) den Schaumkraut-Waldquellfluren silikatischer Quellen (Klasse: *Montio-Cardaminetea*) zuzuordnen.





Untersuchungsgebiete	KR	KW	BW	H	RH	VB	Insg.
Taxa-Anzahl absolut ( $\emptyset$ )	16	25	13	13	22	29	20
Taxa-Anzahl relativ ( $\emptyset$ )	13,6%	21,2%	11,0%	11,0%	18,6%	24,6%	100%
Taxa-Anzahl Minimum	0	5	2	4	8	16	0
Taxa-Anzahl Maximum	33	34	33	26	37	38	38

Tab. K5-12: Anzahl unterschiedlicher Taxa nach Untersuchungsgebiet

Die Quellen mit den meisten Taxa sind im Untersuchungsgebiet des Naturwaldreservats der Niddahänge (Vogelsberg) zu finden, gefolgt vom Kellerwald und dem Schafstein in der Rhön (Tab. K5-11). Die Untersuchungsgebiete Krofdorfer Forst, Burgwald und Hainich sind auch bezüglich der durchschnittlichen Taxazahl mit einer geringeren Biodiversität gegenüber den vorgenannten Untersuchungsgebieten gekennzeichnet. Zusammenfassend wird festgestellt:

Krofdorfer Forst (KR): geringe Taxa-Anzahl, aber hohe Individuen-Anzahl  
 Kellerwald (KW): hohe Taxa- und Individuen-Anzahl  
 Burgwald (BW): geringe Taxa- und Individuen-Anzahl  
 Hainich (H): gering(st)e Taxa- und Individuen-Anzahl  
 Schafstein, Rhön (RH): hohe Taxa-Anzahl, aber geringe Individuen-Anzahl  
 Niddahänge, Vogelsberg (VB): hohe Taxa- und Individuen-Anzahl

Eine Übersicht zur Verteilung der Einzelfunde (EF = Fund eines Taxon mit einem unterschiedlichen systematischen Rang in einer Quelle/Untersuchungsobjekt bei einer Gesamtbeprobung/Untersuchung) nach taxonomischer Stufe wird im Folgenden nach Stamm, Klasse und Ordnung dargestellt. Danach erfolgt eine Kurzbeschreibung der Taxa nach Stämmen gegliedert, wobei in den Klammern die Anzahl der Einzelfunde (EF) und der Individuen steht, wenn das Taxon bis zu diesem systematischen Rang bestimmt werden konnte:

Stamm	Anzahl EF absolut	Anzahl EF relativ (%)
<i>Cnidaria</i>	1	---
<i>Plathelminthes</i>	44	1,4%
<i>Nemathelminthes</i>	61	2,0%
<i>Mollusca</i>	332	10,9%
<i>Annelida</i>	132	4,3%
<i>Tardigrada</i>	1	---
<i>Arthropoda</i>	2486	81,3%
Klasse	Anzahl EF absolut	Anzahl EF relativ (%)
<i>Hydrozoa</i>	1	---
<i>Turbellaria</i>	44	1,4%
<i>Rotatoria</i>	2	0,1%
<i>Nematoda</i>	42	1,4%
<i>Nematomorpha</i>	17	0,6%
<i>Bivalvia</i>	76	2,5%
<i>Gastropoda</i>	256	8,4%
<i>Clitellata</i>	132	4,3%
<i>Arachnida</i>	403	13,3%
<i>Crustacea</i>	371	12,2%
<i>Chilopoda</i>	7	0,2%
<i>Insecta</i>	1562	51,4%
<i>Entognatha</i>	126	4,1%

Ordnung	Anzahl EF absolut	Anzahl EF relativ (%)
<i>Anthomedusae</i>	1	---
<i>Seriata</i>	42	1,5%
<i>Gordiida</i>	17	0,6%
<i>Veneroida</i>	76	2,8%
<i>Neotaenioglossa</i>	68	2,5%
<i>Basammatophora</i>	56	2,1%
<i>Stylommatophora</i>	132	4,9%
<i>Hirudinae</i>	2	0,1%
<i>Oligochaeta</i>	130	4,8%
<i>Pseudoscorpiones</i>	9	0,3%
<i>Araneae</i>	177	6,5%
<i>Opiliones</i>	31	1,1%
<i>Acari</i>	75	2,8%
<i>Diplostraca</i>	1	---
<i>Harpacticoida</i>	64	2,4%
<i>Cyclopoida</i>	73	2,7%
<i>Amphipoda</i>	111	4,1%
<i>Isopoda</i>	75	2,8%
<i>Lithobiomorpha</i>	6	0,2%
<i>Diplopoda</i>	17	0,6%
<i>Ephemeroptera</i>	5	0,2%
<i>Odonata</i>	4	0,1%
<i>Plecoptera</i>	147	5,4%
<i>Dermaptera</i>	1	---
<i>Psocoptera</i>	4	0,1%
<i>Thysanoptera</i>	4	0,1%
<i>Hemiptera</i>	74	2,7%
<i>Neuroptera</i>	4	0,1%
<i>Coleoptera</i>	398	14,7%
<i>Hymenoptera</i>	26	1,0%
<i>Trichoptera</i>	229	8,4%
<i>Lepidoptera</i>	15	0,6%
<i>Diptera</i>	649	23,9%

### **Cnidaria - Nesseltiere**

Es wurde ein Vertreter (*Hydra* sp.) der Familie der Süßwasserpolypen (*Hydridae*) in einer Quelle in den Niddahängen im Vogelsberg gefunden. Hierbei handelt es sich um einen Einzelfund.

### **Plathelminthes - Plattwürmer**

44 Einzelfunde (EF) konnten insgesamt den Plattwürmern (*Plathelminthes*) zugewiesen werden, wobei drei Arten bestimmt wurden: *Dugesia gonocephala* (Dreieckskopfstrudelwurm; 2 EF, 3 Individuen), *Crenobia alpina* (Alpenstrudelwurm; 32 EF, 234 Individuen) und *Polycelis felina* (Vielaugenstrudelwurm; 4 EF, 42 Individuen). Ein Taxon konnte auf den Rang der Familie der *Planariidae*, drei Einzelfunde wurden in den Rang der Überordnung *Tricladida* und 2 Einzelfunde in den Rang der Klasse *Turbellaria* eingeordnet.

### **Nemathelminthes - Schlauchwürmer**

Innerhalb der Schlauchwürmer (*Nemathelminthes*) wurden die Klassen *Rotatoria*<sup>1</sup> (Rädertierchen; 2 EF, 2 Individuen), *Nematoda* (Fadenwürmer; 42 EF, 94 Individuen) und 17 Einzelfunde der Ordnung *Gordiida* (29 Individuen) innerhalb der Klasse *Nematomorpha* (Saitenwürmer) festgestellt. *Nematomorpha* halten sich nur zur Fortpflanzung freilebend im Wasser auf, da sie ansonsten als Innenparasiten von Arthropoden überdauern (LUCIUS & LOOS-FRANK 2008).

### **Mollusca - Weichtiere**

Die *Mollusca* sind mit einem Anteil von 10,9 % Anteil an den Einzelfunden der zweithäufigste Stamm der untersuchten Quellen, wobei die Klasse der *Gastropoda* (Schnecken) mit 8,4 % gegenüber der Klasse der *Bivalvia* (Muscheln) mit 2,5 % überwiegen. Bei den Muscheln wurde eine Gattung determiniert, die Quellerbsenmuschel *Pisidium* (76 EF, 245 Individuen). In den überwiegenden Fällen dürfte es sich um die Art *Pisidium personatum* handeln, die allerdings nicht eindeutig zu bestimmen war. Die Art ist häufig in der Nähe von Grundwasseraustritten (GLÖER & MEIER-BROOK 2003). Die Gattung *Pisidium* wird als krenophil, d.h. mit einem Verbreitungsschwerpunkt in Quellen, Quellbächen sowie in Nachbarbiotopen (z.B. Bachoberläufe) einstreuend gekennzeichnet (FISCHER 1996). Innerhalb der Klasse der Schnecken (*Gastropoda*) konnte 1 Familie der kiemenatmenden Schnecken (*Prosobranchia*) bestimmt werden: *Hydrobiidae*, mit den Arten *Bythinella dunkeri* (Dunkers Quellschnecke; 41 EF, 322 Individuen) und *Bythinella compressa* (Rhönquellschnecke; 27 EF, 171 Individuen). Die Quellschnecken *Bythinella dunkeri* und *Bythinella compressa* sind biogeographisch in ihrer Verbreitung räumlich eng begrenzt. Die Untersuchungsgebiete der Dunkers Quellschnecke (*B. dunkeri*) liegen an der östlichsten Verbreitungsgrenze (GLÖER & MEIER-BROOK 2003). Die Art konnte erstmalig für den Naturraum Burgwald festgestellt werden. Die Rhönquellschnecke (*B. compressa*) ist eine endemische Art mit einer naturräumlichen Verbreitung in Rhön und Vogelsberg (GLÖER & MEIER-BROOK 2003). Bei den lungenatmenden Schnecken (*Pulmonata*) wurden 13 Familien gefunden: *Lymnaeidae* mit der Gattung *Radix* (Schlammschnecke; 1 EF, 1 Individuum) und der Art *Galba truncatula* (Kleine Sumpfschnecke; 23 EF, 38 Individuen); *Planorbidae* (2 EF, 6 Individuen); *Ellobiidae* mit der Gattung *Carychium* (Zwerghornschncke; 17 EF, 30 Individuen) bzw. der Art *Carychium tridentatum* (Schlanke Zwerghornschncke; 13 EF, 26 Individuen); *Succineidae* (Bernsteinschnecken; 11 EF, 25 Individuen); *Cochlicopidae* (Glattschnecken; 2 EF, 2 Individuen) mit der Gattung *Cochlicopa* (3 EF, 3 Individuen); *Clausiliidae* (Schließmundschnecken; 6 EF, 6 Individuen); *Euconulidae* (Kegelchen) mit der Gattung *Euconulus* (5 EF, 5 Individuen) bzw. der Art *Euconulus fulvus* (Helles Kegelchen; 4 EF, 6 Individuen); *Patulidae* (Schüsselschnecken) mit der Art *Discus rotundatus* (Gefleckte Schüsselschnecke; 11 EF, 12 Individuen); *Helicidae* (Schnirkelschnecken; 3 EF, 3 Individuen) mit der Art *Arianta arbustorum* (Gefleckte Schnirkelschnecke; 1 EF, 1 Individuum); *Hygromiidae* (Laubschnecken) mit der Art *Monachoides incarnatus* (Rötliche Laubschnecke; 26 EF, 54 Individuen) und der Gattung *Trichia* (Haarschnecke; 1 EF, 1 Individuum); *Zonitidae* (Riesenglanzschnecken; 26 EF, 34 Individuen) mit der Gattung *Oxychilus* (1 EF, 1 Individuum); *Limacidae* (9 EF, 9 Individuen) sowie *Arionidae* (Wegschnecken; 7 EF, 7 Individuen).

<sup>1</sup> Die systematische Stellung der *Rotatoria* wird aktuell diskutiert. *Rotatoria* werden neuerdings zum Überstamm der Plattwurmartigen (*Platyzoa*) gezählt.



**Annelida – Ringelwürmer**

Die Ringelwürmer (*Annelida*) sind mit den Ordnungen *Hirudinea* (Egel; 2 EF, 6 Individuen) und *Oligochaeta* (Wenigborster; 89 EF, 281 Individuen) vertreten. Hinzu kommen bei den *Oligochaeta* die Familie der *Lumbricidae* (Regenwürmer; 13 EF, 16 Individuen) mit der Art *Eiseniella tetraedra* (Ufer-Regenwurm; 28 EF, 41 Individuen).

**Tardigrada – Bärtierchen**

Es konnte ein Einzelfund (1 Individuum) als Bärtierchen (*Tardigrada*) bestimmt werden.

**Arthropoda – Gliederfüßer**

Die Gliederfüßer (*Arthropoda*) sind mit einem Anteil von 81,3% an den Einzelfunden der dominante Stamm der untersuchten Quellen. Zur besseren Übersicht erfolgt eine Untergliederung nach Klassen.

**Arthropoda, Klasse: Arachnida – Spinnentiere**

Innerhalb der Spinnentiere (*Arachnida*) konnten 4 Ordnungen determiniert werden: *Pseudoscorpiones* (Pseudoskorpione; 4 EF, 7 Individuen) mit der Gattung *Neobisium* (Moosskorpion; 5 EF, 6 Individuen); *Araneae* (Webspinnen; 87 EF, 152 Individuen) mit den Familien: *Araneidae* (Echte Radnetzspinnen; 1 EF, 6 Individuen); *Linyphiidae* (Baldachinspinnen; 68 EF, 144 Individuen); *Tetragnathidae* (Dickkieferspinnen; 2 EF, 3 Individuen) mit der Art *Metellina merianae* (Herbstspinne; 1 EF, 3 Individuen) und der Gattung *Tetragnatha* (Streckerspinnen; 2 EF, 6 Individuen); *Agelenidae* (Trichterspinnen; 1 EF, 1 Individuum); *Lycosidae* (Wolfspinnen; 11 EF, 31 Individuen) und *Thomisidae* (Krabbenspinnen; 4 EF, 5 Individuen); *Opiliones* (Weberknechte) mit den Familien: *Nemastomatidae* (Fadenkanker; 1 EF, 1 Individuum) mit den Arten *Nemastoma lugubre* (2 EF, 8 Individuen) und *Paranemastoma quadripunctatum* (3 EF, 10 Individuen); *Phalangidae* (Schneider; 13 EF, 43 Individuen) mit den Arten *Lacinius ephippiatus* (1 EF, 1 Individuum), *Mitopus morio* (1 EF, 1 Individuum), *Oligolophus tridens* (3 EF, 3 Individuen), *Rilaena triangularis* (1 EF, 1 Individuum) und die Gattung *Opilio* (1 EF, 3 Individuen) sowie die Subfamilie *Platybuninae* (1 EF, 1 Individuum) und *Sclerosomatidae* mit der Subfamilie *Leiobuninae* (1 EF, 1 Individuum) mit der Art *Leiobunum blackwalli* (3 EF, 4 Individuen); *Acari* (Milben; 75 EF, 164 Individuen) mit den Familien *Hydrachnellae* (Süßwassermilben) mit den Arten *Arrenurus fontinalis* (4 EF, 37 Individuen), *Atractides fonticolus* (1 EF, 1 Individuum), *Hygrobatas norvegicus* (3 EF, 6 Individuen), *Lebertia lativentris* (1 EF, 1 Individuum), *Lebertia sefvei* (1 EF, 1 Individuum), *Panisellus thienemanni* (1 EF, 1 Individuum), *Paniscus torrenticolus* (1 EF, 1 Individuum), *Parathyas palustris* (1 EF, 2 Individuen), *Partnunia steinmanni* (6 EF, 8 Individuen), *Protzia* sp. (1 EF, 1 Individuum), *Protzia squamosa squamosa* (4 EF, 4 Individuen), *Sperchon mutilus* (1 EF, 1 Individuum), *Sperchon squamosus* (1 EF, 1 Individuum) und *Sperchon thienemanni* (5 EF, 5 Individuen); *Halacaridae* (Meeresmilben) mit den Arten *Lobohalacarus weberi* (5 EF, 8 Individuen), *Parasoldanellonyx parviscutatus* (1 EF, 1 Individuum), *Soldanellonyx chappuisi* (5 EF, 8 Individuen) und *Soldanellonyx monardi* (5 EF, 10 Individuen); *Hydrovolziidae* mit der Art *Hydrovolzia placophora* (4 EF, 4 Individuen). Ferner wurden weitere Milben bestimmt: *Gamasida* (Raubmilben; 4 EF, 10 Individuen), *Ixodida* (Zecken; 7 EF, 17 Individuen) mit der Gattung *Ixodes* (3 EF, 5 Individuen), *Oribatida* (Hornmilben; 35 EF, 70 Individuen) mit der Familie *Phthiracaridae* (17 EF, 45 Individuen), *Trombidiidae* (Samtmilben) mit der Art *Trombidium holosericeum* (1 EF, 2 Individuen).

Für die Süßwassermilben sind die Arten *Sperchon mutilus* und *Lebertia lativentris* Erstfunde für das Katastergebiet 4 "Hessen" des Verbands der deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V. bzw. im Biospeläologischen Kataster von Hessen. Bislang konnten beide Arten in Hessen nicht nachgewiesen werden.

#### **Arthropoda, Klasse: Crustacea – Krebstiere**

Bei den Krebstieren (*Crustacea*) konnten Kleinkrebse und Höhere Krebse nachgewiesen werden. Kleinkrebse konnten entsprechend determiniert werden: *Diplostraca* (Zweischaler; 1 EF, 1 Individuum), *Ostracoda* (Muschelkrebse; 47 EF, 99 Individuen) sowie bei den *Copepoda* (Ruderfußkrebse) *Harpacticoida* (64 EF, 135 Individuen) und *Cyclopidae* (Hüpfertlinge; 73 EF, 163 Individuen). Höhere Krebse sind nach Ordnungen: *Amphipoda* (Flohkrebse) mit den Familien *Gammaridae* (1 EF, 1 Individuum) mit der Gattung *Gammarus* (Bachflohkrebs; 10 EF, 23 Individuen) und den Arten *Gammarus fossarum* (43 EF, 91 Individuen) und *Gammarus pulex* (16 EF, 21 Individuen) sowie *Niphargidae* (Höhlenflohkrebse) mit der Gattung *Niphargus* (13 EF, 45 Individuen) und den Arten *Niphargus aquilex* (11 EF, 29 Individuen) und *Niphargus schellenbergi* (17 EF, 54 Individuen); *Isopoda* (Asseln; 6 EF, 16 Individuen) mit den Familien *Ligiidae* und der Art *Ligidium hypnorum* (Sumpffassel; 13 EF, 19 Individuen), *Oniscidae* mit der Art *Oniscus asellus* (Mauerassel; 7 EF, 11 Individuen) und *Trichoniscidae* (3 EF, 3 Individuen) mit der Gattung *Trichoniscus* (40 EF, 71 Individuen) und der Art *Trichoniscus pusillus* (8 EF, 10 Individuen).

#### **Arthropoda, Klasse: Chilopoda – Hundertfüßer**

Innerhalb der Hundertfüßer (*Chilopoda*; 1 EF, 3 Individuen) konnten die beiden Ordnungen *Lithobiomorpha* mit der Familien *Lithobiidae* und der Gattung *Lithobius* (Steinläufer; 6 EF, 17 Individuen) sowie *Diplopoda* (Tausendfüßer; 9 EF, 15 Individuen) mit den Familien *Glomeridae* (Saftkugler) und der Art *Glomeris marginata* (Gesäumter Saftkugler; 1 EF, 1 Individuum), *Julidae* (Schnurfüßer; 4 EF, 5 Individuen) und *Polydesmidae* (Doppelfüßer) mit der Gattung *Polydesmus* (Bandfüßer; 3 EF, 4 Individuen) festgestellt werden.

#### **Arthropoda, Klasse: Insecta – Insekten**

Die Insekten sind die dominante Klasse mit 51,4 % Anteil an den Einzelfunden. Es erfolgt eine Gliederung der Befunde nach Überordnung und Ordnung unterteilt, um eine Übersicht zu erhalten. 2 Einzelfunde der *Insecta* (8 Individuen) konnten nicht weiter bestimmt werden.

#### **Ephemeroptera – Eintagsfliegen**

Innerhalb der Überordnung der Eintagsfliegen (*Ephemeroptera*) konnte die Art *Habroleptoides confusa* (Zarte Gabel-Eintagsfliege; 5 EF, 7 Individuen) als Larve nachgewiesen werden.

#### **Odonata – Libellen**

Es konnte die Libellenart (*Odonata*) *Cordulegaster bidentatus* (Quelljungfer; 4 EF, 6 Individuen) als Larve determiniert werden.

#### **Plecoptera – Steinfliegen**

Innerhalb der Ordnung der Steinfliegen (*Plecoptera*; 43 EF, 83 Individuen) wurden die Familien *Nemouridae* mit den Gattungen *Amphinemura* (1 EF, 2 Individuen), *Nemoura* (54 EF, 168 Individuen) und *Protonemura* (8 EF, 22 Individuen) sowie

*Leuctridae* (1 EF, 1 Individuum) mit der Gattung *Leuctra* (40 EF, 83 Individuen) als Larven nachgewiesen.

### **Hemiptera – Schnabelkerfe**

Innerhalb der Schnabelkerfe (*Hemiptera*; 15 EF, 24 Individuen<sup>2</sup>) wurden 4 Unterordnungen determiniert: *Cicadomorpha* (Rundkopfzikaden) mit der Familie *Cicadellidae* (Kleinzikaden) und der Art *Cicadella viridis* (Binsenschmuckzikade; 4 EF, 5 Individuen) und der Subfamilie *Typhlocybinae* (Blattzikaden; 1 EF, 1 Individuum); *Fulgoromorpha* (Spitzkopfzikaden) mit der Familie *Issidae* (Käferzikaden) und der Art *Issus coleoptratus* (Echte Käferzikade; 1 EF, 1 Individuum); *Heteroptera* (Wanzen; 30 EF, 39 Individuen) mit der Familie *Veliidae* (Bachläufer; 4 EF, 4 Individuen) und der Gattung *Velia* sp. (6 EF, 7 Individuen) sowie *Sternorrhyncha* (Pflanzenläuse) mit der Überfamilie *Aphidoidea* (Blattläuse; 13 EF, 21 Individuen).

### **Coleoptera – Käfer**

Bei den *Coleoptera* (Käfer; 65 EF, 137 Individuen) konnten für die *Adephaga* die Familien *Dytiscidae* (Schwimmkäfer; 9 EF, 30 Individuen) mit der Gattung *Agabus* (Schnellschwimmer; 10 EF, 10 Individuen), die Unterfamilie *Hydroporinae* (17 EF, 47 Individuen) sowie *Carabidae* (Laufkäfer; 6 EF) und für die *Polyphaga* die Familien *Hydrophilidae* (Wasserkäfer; 9 EF, 16 Individuen) mit den Gattungen *Anacaena* sp. (80 EF, 269 Individuen) und *Helophorus* sp. (5 EF, 9 Individuen); *Hydraenidae* (Langtasterwasserkäfer; 19 EF, 82 Individuen); *Ptiliidae* (Zwergkäfer; 5 EF, 7 Individuen); *Staphylinidae* (Kurzflügelkäfer; 88 EF, 127 Individuen); *Geotrupidae* (Mistkäfer; 1 EF, 1 Individuum); *Scarabaeidae* (Blatthornkäfer; 2 EF, 2 Individuen); *Scirtidae* (Sumpfkäfer; 66 EF, 262 Individuen); *Elmidae* (Klauenkäfer; 4 EF, 14 Individuen); *Elateridae* (Schnellkäfer; 5 EF, 19 Individuen); *Cerambycidae* (Bockkäfer; 1 EF, 5 Individuen) sowie *Curculionidae* (Rüsselkäfer; 6 EF, 16 Individuen) nachgewiesen werden.

### **Hymenoptera - Hautflügler**

Es wurden die Unterordnungen *Apocrita* (17 EF, 32 Individuen) mit *Formicidae* (Ameisen; 8 EF, 13 Individuen) sowie *Symphyta* (1 EF, 1 Individuum) gefunden.

### **Trichoptera – Köcherfliegen**

Innerhalb der Köcherfliegen (*Trichoptera*) wurden 6 Familien gefunden: *Glossosomatidae* (1 EF, 1 Individuum); *Polycentropodidae* (Netzköcherfliegen; 8 EF, 25 Individuen); *Limnephilidae* (1 EF, 3 Individuen); *Lepidostomatidae* mit der Art *Crunoecia irrorata* (Quellköcherfliege; 66 EF, 151 Individuen); *Sericostomatidae* mit der Gattung *Sericostoma* (Maskenköcherfliege; 58 EF; 107 Individuen) sowie *Beraeidae* (28 EF, 72 Individuen).

### **Diptera – Zweiflügler**

Innerhalb der Zweiflügler (*Diptera*) konnten bei den Mücken (*Nematocera*) 14 Familien bestimmt werden: *Bibionidae* (Haarmücken; 1 EF, 2 Individuen); *Cecidomyiidae* (Gallmücken; 6 EF, 12 Individuen); *Ceratopogonidae* (Gnitzen; 10 EF, 11 Individuen) mit der Gattung *Bezzia* (19 EF, 33 Individuen); *Chironomidae* (Zuckmücken; 109 EF, 259 Individuen); *Culicidae* (Stechmücken; 10 EF, 17 Individuen); *Dixidae* (Tastermücken) mit der Gattung *Dixa* sp. (52 EF, 70 Individuen);

<sup>2</sup> Die 15 EF sind Zikaden (Auchenorrhyncha)

*Limoniidae* (Stelzmücken; 81 EF, 135 Individuen) mit der Art *Limonia nubeculosa* (2 EF, 4 Individuen); *Pediciidae* (Sumpfmücken) mit der Art *Pedicia rivosa* (3 EF, 3 Individuen); *Psychodidae* (Schmetterlingsmücken; 39 EF, 121 Individuen); *Sciaridae* (Trauermücken; 6 EF, 15 Individuen); *Simuliidae* (Kriebelmücken; 8 EF, 20 Individuen); *Thaumaleidae* (Dunkelmücken; 44 EF, 79 Individuen); *Tipulidae* (Schnaken; 35 EF, 100 Individuen); *Trichoceridae* (Wintermücken; 1 EF, 1 Individuum). Für die Fliegen (*Brachycera*) wurden 10 Familien gefunden: *Dolichopodidae* (Langbeinfliegen; 19 EF, 30 Individuen); *Empididae* (Tanzfliegen; 12 EF, 17 Individuen) mit der Gattung *Clinocera* sp. (2 EF, 4 Individuen); *Lauxaniidae* (Faulfliegen; 20 EF, 26 Individuen); *Lonchopteridae* (Lanzenfliegen; 18 EF, 29 Individuen); *Phoridae* (Scharfrichterfliegen; 4 EF, 4 Individuen); *Sciomyzidae* (Hornfliegen; 1 EF, 1 Individuum); *Sepsidae* (Schwingfliegen; 1 EF, 7 Individuen); *Sphaeroceridae* (Dungfliegen; 9 EF, 25 Individuen); *Stratiomyidae* (Waffenfliegen; 2 EF, 5 Individuen) und *Syrphidae* (Schwebfliegen; 10 EF, 18 Individuen).

### Weitere Ordnungen

Folgende Taxa wurden bis zur Ordnung bestimmt: *Dermaptera* (Ohrwürmer; 1 EF, 3 Individuen); *Psocoptera* (Staubläuse; 4 EF, 1 Individuum); *Thysanoptera* (Fransenflügler; 4 EF, 14 Individuen); *Neuroptera* (Netzflügler; 4 EF, 4 Individuen); *Lepidoptera* (Schmetterlinge; 15 EF, 20 Individuen).

### Arthropoda, Klasse: Entognatha – Sackkiefler

Innerhalb der *Entognatha* (Sackkiefler) konnten die Klassen *Diplura* (Doppelschwänze; 1 EF, 1 Individuum) und *Collembola* (Springschwänze; 125 EF, 1001 Individuen) festgestellt werden.

## 5.2.3 Fauna - Ökologische Typisierung der Fauna

Eine ökologische Kennzeichnung der Fauna erfolgt auf Art- und Gattungsniveau zunächst quantitativ mit Indices wie Abundanz, Stetigkeit, Diversität (Shannon-Index), Evenness und ökologischer Wertezahl (ÖWZ) sowie qualitativ mit Angaben zur Stenotopie, Zuordnung zu Teillebensräumen des Quellökotons, Ernährungstyp und Angaben zur Seltenheit (Rote Liste-Einstufung).

### Abundanz und Stetigkeit

Die Abundanz wird hier als die Artmächtigkeit innerhalb der ausgewerteten Proben in einem Untersuchungsobjekt angesehen, d.h. die Anzahl von Individuen einer Gattung/Art pro Quelle nach Proben. Eine „Hochrechnung“ aus der Stichprobe, bezogen auf die Gesamtfläche des Eukrenals, unterbleibt, da der Untersuchungsansatz auf das proportionale Vorkommen der Taxa nach dem Deckungsgrad eines Substrattyps ausgerichtet ist und somit unterschiedliche Teilflächen im Eukrenal mit einem uneinheitlichen Aufwand beprobt wurden und eine methodisch bedingte inkorrekte Wiedergabe der Populationsdichte zu erwarten ist. Die Abundanz wird nach LISCHESKI & LAUKÖTTER (1993) in Abundanzklassen (1: 1-2 Individuen; 2: 3-7 Individuen; 3: 8-15 Individuen; 4: 16-50 Individuen; 5: >50 Individuen) eingeteilt (Tab. K5-13). Die Stetigkeit gibt die Häufigkeit der Art/Gattung bezogen auf die Gesamtzahl der untersuchten Quellen (= 152 Untersuchungsobjekte), d.h. das statistische Treuemaß oder die Präsenz (MÜLLER



1988). Tab. K5-13 zeigt auf den nächsten zwei Seiten die Arten und Gattungen nach der Stetigkeit sortiert und mit der zugehörigen Abundanzklasse.

Gattung / Art	Deutscher Name	Abundanz- klasse	Stetigkeit (%)
Bythinella dunkeri	Dunkers Quellschnecke	3	80.3
Pisidium sp.	Quellerbsenmuschel	2	79.6
Gammarus fossarum	Bachflohkrebs	3	72.4
Sericoctoma sp.	Maskenköcherfliege	2	72.4
Crunoecia irrorata	Quellköcherfliege	2	68.4
Anacaena sp.	Wasserkäfer	1	67.8
Nemoura sp.	Steinfliege	2	52.6
Bythinella compressa	Rhönquellschnecke	2	45.4
Crenobia alpina	Alpenstrudelwurm	2	42.8
Dixa sp.	Tastermücke	1	42.8
Leuctra sp.	Steinfliege	1	34.2
Trichoniscus sp.	Landassel	1	26.3
Eiseniella tetraedra	Uferregenwurm	1	23.0
Gammarus pulex	Bachflohkrebs	3	21.7
Monachoides incarnatus	Rötliche Laubschnecke	1	19.1
Niphargus schellenbergi	Höhlenflohkrebs	2	18.4
Galba truncatula	Kleine Sumpfschnecke	1	17.1
Bezzia sp.	Gnitze	1	13.2
Carychium sp.	Zwerghornschnecke	1	12.5
Niphargus sp.	Höhlenflohkrebs	1	11.8
Niphargus aquilex	Höhlenflohkrebs	1	9.9
Carychium tridentatum	Zwerghornschnecke	1	9.2
Discus rotundatus	Gefleckte Schüsselschnecke	1	9.2
Ligidium hypnorum	Sumpfassel	1	9.2
Agabus sp.	Schnellschwimmer	1	7.2
Gammarus sp.	Bachflohkrebs	2	7.2
Protonemura sp.	Steinfliege	1	7.2
Polycelis felina	Vielaugenstrudelwurm	2	5.3
Trichoniscus pusillus	Landassel	1	5.3
Oniscus asellus	Landassel	2	4.6
Velia sp.	Bachläufer	1	4.6
Lithobius sp.	Brauner Steinläufer	1	4.0
Partnunia steinmanni	Süßwassermilbe	1	4.0
Habroleptoides confusa	Zarte Gabeleintagsfliege	1	3.3
Arrenurus fontinalis	Süßwassermilbe	3	3.3
Euconulus fulvus	Helles Kegelchen	1	3.3
Euconulus sp.	Kegelchen	1	3.3
Helophorus sp.	Wasserfreund	1	3.3
Lobohalacarus weberi	Meeresmilbe	1	3.3
Neobisium sp.	Mooskorpion (Pseudoskorpion)	1	3.3
Soldanellonyx chappuisi	Meeresmilbe	1	3.3
Soldanellonyx monardi	Meeresmilbe	1	3.3
Sperchon thienemanni	Süßwassermilbe	1	3.3
Cicadella viridis	Binsenschmuckzikade	1	2.6
Cordulegaster bidentatus	Gestreifte Quelljungfer	2	2.6
Hydrovolzia placophora	Süßwassermilbe	1	2.6
Leiobunum blackwalli	Schwarzer Weberknecht	1	2.6
Protzia squamosa squamosa	Süßwassermilbe	1	2.6
Cochlicopa sp.	Glattschnecke	1	2.0
Hygrobatas norvegicus	Süßwassermilbe	1	2.0
Ixodes sp.	Zecke	1	2.0
Oligolophus tridens	Weberknecht	1	2.0
Paranemastoma quadripunctatum	Weberknecht	1	2.0
Pedicia rivosa	Stelzmücke	1	2.0

Gattung / Art	Deutscher Name	Abundanz- klasse	Stetigkeit (%)
Polydesmus sp.	Bandfüßer	1	2.0
Clinocera sp.	Tanzfliege	1	1.3
Dugesia gonocephala	Europäische Bachplanarie	1	1.3
Limonia nubeculosa	Stelzmücke	1	1.3
Nemastoma lugubre	Fadenkanker (Weberknecht)	1	1.3
Tetragnatha sp.	Strecker spinne	1	1.3
Trichia sp.	Haarschnecke	1	1.3
Amphinemura sp.	Steinfliege	1	0.8
Arianta arbustorum	Gefleckte Schnirkelschnecke	1	0.8
Atractides fonticolus	Süßwassermilbe	1	0.8
Glomeris marginata	Gesäumter Saftkugler	1	0.8
Issus coleoptratus	Echte Käferzikade	1	0.8
Lacinius ephippiatus	Weberknecht	1	0.8
Lebertia lativentris	Süßwassermilbe	1	0.8
Lebertia sefvei	Süßwassermilbe	1	0.8
Metellina merianae	Herbstspinne	1	0.8
Mitopus morio	Weberknecht	1	0.8
Opilio sp.	Weberknecht	1	0.8
Oxychilus sp.	Glanzschnecke	1	0.8
Panisellus thienemanni	Süßwassermilbe	1	0.8
Paniscus torrenticolus	Süßwassermilbe	1	0.8
Parasoldanellonyx parviscutatus	Meeresmilbe	1	0.8
Parathyas palustris	Süßwassermilbe	1	0.8
Protzia sp.	Süßwassermilbe	1	0.8
Radix sp.	Schlamm-schnecke	1	0.8
Rilaena triangularis	Weberknecht	1	0.8
Sperchon mutilus	Süßwassermilbe	1	0.8
Sperchon squamosus	Süßwassermilbe	1	0.8
Trombidium holosericeum	Rote Samtmilbe	1	0.8

Tab. K5-13: Arten und Gattungen nach Stetigkeit und Abundanz. Sortierung nach Stetigkeit (Reihenfolge). Abundanzklasse 1: 1-2 Individuen; Abundanzklasse 2: 3-7 Individuen; Abundanzklasse 3: 8-15 Individuen

Hinsichtlich der Verteilung der insgesamt 83 Taxa in Tab. K5-13 auf die Abundanzklassen zeigt sich ein deutlicher Hauptanteil sehr niedriger Abundanzen (Klasse 1 mit 1 bis 2 Individuen) mit 68 Taxa (82%) gegenüber einem geringen Anteil höherer Abundanzen (Klasse 2 mit 3-7 Individuen: 13% und Klasse 3 mit 8-15 Individuen: 5%). Sehr häufige ( $\geq 75\%$ ), häufige ( $\geq 50\%$ ) und verbreitete Taxa ( $\geq 25\%$ ) sind hinsichtlich der Stetigkeit mit einem Anteil von 14% deutlich in der Unterzahl gegenüber seltenen Taxa (Anteil 86%).

Im Folgenden wird die Stetigkeit nach Untersuchungsgebieten dargestellt, wobei neben Arten und Gattungen auch weitere Taxa (Familie, Ordnung) aufgelistet sind (Tab. K5-14). Eine vereinfachte Darstellung der Stetigkeit nach Tab. K5-14 zeigen die beiden Abb. K5-39a und K5-39b (Legende der Stetigkeit in Abb. K5-39b). Die Abkürzungen innerhalb der Spalten zu den Stetigkeitswerten bedeuten: KR=Krofdorfer Forst, KW=Kellerwald, BW=Burgwald, H=Hainich, RH=Rhön und VB=Vogelsberg.

Stetigkeit KR	Taxon	Stetigkeit KW	Taxon	Stetigkeit BW	Taxon	Stetigkeit H	Taxon	Stetigkeit RH	Taxon	Stetigkeit VB
0.68	Colimbola	0.67	Chironomidae	0.64	Oligochaeta	0.67	Staphylinidae	1.00	<i>Bythinella compressa</i>	0.97
0.68	Staphylinidae	0.67	Anacaena sp.	0.67	<i>Psidium</i> sp.	0.67	Chironomidae	0.68	Chironomidae	0.88
0.71	Anacaena sp.	0.71	Anacaena sp.	0.74	Corythium tridentatum	0.56	Colimbola	0.68	Colimbola	0.88
0.71	Chironomidae	0.73	Oligochaeta	0.68	Colimbola	0.56	<i>Psidium</i> sp.	0.68	Colimbola	0.83
0.69	<i>Bythinella dunkeri</i>	0.68	Cyclopidae	0.68	Bezzia sp.	0.44	Oligochaeta	0.75	<i>Crenobia alpina</i>	0.83
0.56	Limoniidae	0.69	Limoniidae	0.47	Corythium sp.	0.44	<i>Bythinella compressa</i>	0.63	Cyclopidae	0.73
0.56	Oligochaeta	0.69	Nemoura sp.	0.47	Dixa sp.	0.44	Cyclopidae	0.63	Gammarus fossarum	0.75
0.44	<i>Sercostoma</i> sp.	0.67	Dolichopodidae	0.37	Harpacticoida	0.44	Limoniidae	0.63	<i>Sercostoma</i> sp.	0.63
0.44	<i>Crenobia iroata</i>	0.62	Harpacticoida	0.37	Zonitidae	0.44	Monachoides incarnatus	0.63	<i>Monachoides incarnatus</i>	0.71
0.41	Trichoniscus sp.	0.62	<i>Psidium</i> sp.	0.32	Anacaena sp.	0.33	<i>Nipharagus schellenbergi</i>	0.63	<i>Lauanidae</i>	0.67
0.36	Leuctra sp.	0.54	Psychodidae	0.32	Cochlicopa sp.	0.33	Harpacticoida	0.50	<i>Psidium</i> sp.	0.67
0.36	<i>Psidium</i> sp.	0.54	Staphylinidae	0.32	Cyclopidae	0.33	Nemoura sp.	0.50	Staphylinidae	0.67
0.36	Cyclopidae	0.49	Trichoniscus sp.	0.26	<i>Galba truncatula</i>	0.33	<i>Nipharagus</i> sp.	0.50	Thaumaleidae	0.67
0.32	Thaumaleidae	0.46	Dixa sp.	0.16	Limoniidae	0.33	<i>Sercostoma</i> sp.	0.50	Oligochaeta	0.63
0.32	Beraeidae	0.36	Empididae	0.16	Agabus sp.	0.22	<i>Crenobia alpina</i>	0.36	Dixa sp.	0.54
0.30	Harpacticoida	0.30	Helophorus sp.	0.16	Chironomidae	0.22	Oligophorus tridens	0.36	<i>Cunoecia iroata</i>	0.54
0.26	Dixa sp.	0.31	<i>Nipharagus schellenbergi</i>	0.16	<i>Discus rotundatus</i>	0.22	Tupilidae	0.36	Limoniidae	0.50
0.26	Gammarus pulex	0.36	<i>Polycelis felina</i>	0.16	Gammarus pulex	0.22	Anacaena sp.	0.25	Anacaena sp.	0.50
0.24	Zonitidae	0.26	Tupilidae	0.16	Psychodidae	0.22	<i>Cunoecia iroata</i>	0.25	Nemoura sp.	0.46
0.24	Corythium sp.	0.26	Zonitidae	0.16	Tupilidae	0.22	Dixa sp.	0.25	Trichoniscus sp.	0.46
0.21	Psychodidae	0.26	Agabus sp.	0.11	<i>Eisenella tetraedra</i>	0.11	<i>Eisenella tetraedra</i>	0.25	Leuctra sp.	0.42
0.21	<i>Crenobia alpina</i>	0.23	Bezzia sp.	0.11	Gammarus fossarum	0.11	Helophorus sp.	0.25	Beraeidae	0.42
0.21	<i>Eisenella tetraedra</i>	0.23	<i>Bythinella dunkeri</i>	0.11	Gammarus sp.	0.11	Lauanidae	0.25	Psychodidae	0.29
0.21	Gammarus fossarum	0.23	<i>Eisenella tetraedra</i>	0.11	Lithobius sp.	0.11	Thaumaleidae	0.25	Dolichopodidae	0.25
0.18	<i>Nipharagus schellenbergi</i>	0.23	Leobunum blackwalli	0.11	Nemoura sp.	0.11	Trichoniscus sp.	0.25	Tupilidae	0.25
0.15	Tupilidae	0.21	Lobohalecarus weberi	0.11	Soldanellopyx chappuisi	0.11	Zonitidae	0.25	Empididae	0.17
0.12	<i>Discus rotundatus</i>	0.18	Cicadella viridis	0.05	Thaumaleidae	0.11	Bezzia sp.	0.13	<i>Hydrovelia placophora</i>	0.17
0.09	Corythium tridentatum	0.15	Cinocera sp.	0.05	Trichia sp.	0.11	Cinocera sp.	0.13	Protonemura sp.	0.17
0.06	Gammarus sp.	0.15	<i>Cunoecia iroata</i>	0.05		Empididae		0.13	Zonitidae	0.17
0.06	Oniscus asellus	0.15	Euconulus fulvus	0.05				0.13	<i>Eisenella tetraedra</i>	0.13
0.06	<i>Partunilla steinmanni</i>	0.15	Euconulus sp.	0.05				0.13	<i>Galba truncatula</i>	0.13
0.06	<i>Galba truncatula</i>	0.13	Issus coleoptratus	0.05				0.13	Leuctra sp.	0.13
0.06	Lithobius sp.	0.10	Idoes sp.	0.05				0.13	Soldanellopyx chappuisi	0.13
0.06	Nemoura sp.	0.10	Limonia rubeculosa	0.05				0.13	Soldanellopyx chappuisi	0.13
0.03	<i>Prozia squamosa squamosa</i>	0.10	Metellina menidae	0.05				0.13	<i>Sperchon thienemanni</i>	0.13
0.03	Agabus sp.	0.08	Neobisium sp.	0.05				0.13	<i>Vela</i> sp.	0.13
0.03	<i>Arrenurus fontinalis</i>	0.08	<i>Nipharagus aquilex</i>	0.05				0.13	<i>Hygrobatas norvegicus</i>	0.08

Tab. K5-14: Taxa nach Stetigkeit und Untersuchungsgebiet. Blau/fett: Krenobionte; fett: Krenophile

Taxon	KR	KW	BW	H	RH	VB
<i>Agabus</i> sp.	■	■	■	■		
<i>Amphimernura</i> sp.	■					
<i>Anacaena</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Arianta arbustorum</i>	■					
<i>Arrenurus fortinialis</i>	■					
<i>Atractodes forficatus</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Beraeidae</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Bezzia</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Bythinella compressa</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Bythinella dunkeri</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Carychium</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Carychium tridentatum</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Chironomidae</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Cicadella viridis</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Clinocera</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Cochlicopa</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Collembola</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Cordulegaster bidentatus</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Crenobia alpina</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Crunoecia irrorata</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Cyclopidae</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Discus rotundatus</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Dixa</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Dolichopodidae</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Dugesia gonoccephala</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Eiseniella tetraedra</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Empididae</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Euconulus fulvus</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Euconulus</i> sp.	■	■	■	■	■	■

Taxon	KR	KW	BW	H	RH	VB
<i>Galba truncatula</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Gammarus fossarum</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Gammarus pulex</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Gammarus</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Glomeris marginata</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Habroplectoides confusa</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Harpacticoida</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Helophorus</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Hydrovolzia placophora</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Hygrobaates norvegicus</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Issus coleoptratus</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Ixodes</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Lacinius ephippiatus</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Lauraniidae</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Lebertia lativentris</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Lebertia sehei</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Lelebumum blackwalli</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Leuctra</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Ligidium hypnorum</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Limonia nubeculosa</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Limoniidae</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Lithobius</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Lobothalacarus weberi</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Metellina merianae</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Mitopus morio</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Monachoides incarnatus</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Nemastoma lugubre</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Nemoura</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Neobisium</i> sp.	■	■	■	■	■	■

Abb. K5-39a: Zusammensetzung der Fauna und Stetigkeitsklassen nach Untersuchungsgebiet. Eigene Darstellung



Taxon	KR	KW	BW	H	RH	VB
<i>Niphargus aquilex</i>	■		■			■
<i>Niphargus scheellenbergi</i>		■	■		■	
<i>Niphargus</i> sp.	■	■			■	
<i>Oligochaeta</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Oligolophus tridens</i>					■	
<i>Oniscus asellus</i>	■	■				
<i>Oxychilus</i> sp.		■				
<i>Paraisellus thienemanni</i>			■			
<i>Paniscus torrenticolus</i>						■
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i>	■		■			
<i>Parasoldanelonyx parvisculatus</i>			■			
<i>Parathyas palustris</i>		■				
<i>Parturnia steinmanni</i>		■				
<i>Pedicia rivosa</i>		■			■	■
<i>Pisidium</i> sp.	■	■	■	■	■	■
<i>Polycelis felina</i>			■			
<i>Polydesmus</i> sp.	■	■	■			
<i>Protonemura</i> sp.	■	■			■	■
<i>Protzia</i> sp.		■				
<i>Protzia squamosa squamosa</i>		■				
<i>Psychodidae</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Radix</i> sp.		■				
<i>Rilaena triangularis</i>						
<i>Sericostoma</i> sp.	■	■	■		■	■
<i>Soldanelonyx chappuisi</i>				■	■	■
<i>Soldanelonyx monardi</i>		■	■			■
<i>Sperchon mutilus</i>		■				
<i>Sperchon squamosus</i>						■
<i>Sperchon thienemanni</i>		■				■

Taxon	KR	KW	BW	H	RH	VB
<i>Staphylinidae</i>	■	■	■		■	■
<i>Tetragrathia</i> sp.	■		■			
<i>Thaumaleidae</i>	■	■		■	■	■
<i>Tipulidae</i>	■	■	■	■	■	■
<i>Trichia</i> sp.						■
<i>Trichoniscus</i> sp.	■	■	■		■	■
<i>Trombidium holosericeum</i>						■
<i>Velia</i> sp.	■					■
<i>Zonitidae</i>	■	■	■	■	■	■

Legende

■	Stetigkeit $\geq 75\%$	sehr häufig
■	Stetigkeit 50 - 74%	häufig
■	Stetigkeit 25 - 49%	verbreitet
■	< Stetigkeit 25%	seltener

Abb. K5-39b: Zusammensetzung der Fauna und Stetigkeitsklassen nach Untersuchungsgebiet. Eigene Darstellung

## Diversität und Evenness

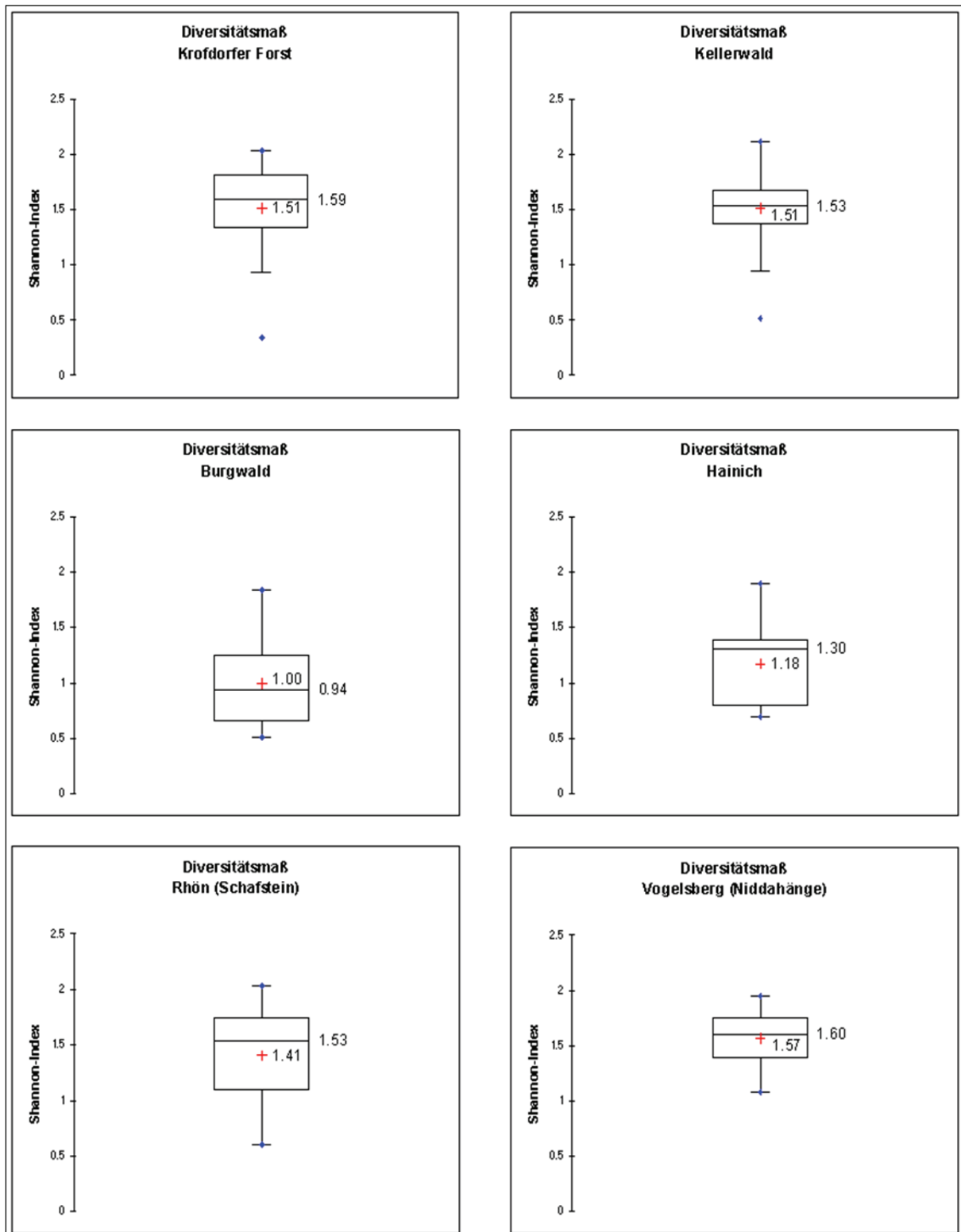


Abb. K5-40: Box-Whisker-Plots der Diversitätsmaße (Shannon-Index) aller untersuchten Quellen. Quellen mit einem Index von Null wurden aus dem Datensatz entfernt (Krofdorfer Forst, n=32; Kellerwald, n=39; Burgwald, n=22; Hainich, n=10; Rhön [Schafstein], n=8; Vogelsberg [Niddahänge], n=24). Eigene Darstellung

Die in Abb. K5-40 dargestellten Diversitätsindices (Shannon-Index) der untersuchten Quellen (Einzelobjekte) zeigt, mit Ausnahme der Niddahänge im Vogelsberg, ein untersuchungsgebietsübergreifend hohes Maß der Spannweite. Es gibt Quellen mit

einer hohen Biodiversität (Quelle KW-18 mit einem Shannon-Index von 2,30) bis hin zu Quellen mit einer geringer Artenvielfalt (Quelle KR-23, Shannon-Index 0,35). Trotz dieser Unterschiede wird im Vergleich der Untersuchungsgebiete deutlich, dass die Artenvielfalt im Burgwald auffällig niedriger ist, als in den übrigen Gebieten. Dies gilt insbesondere bei Betrachtung der Medianwerte, also dem Zentralwert der die Extremwerte vernachlässigt.

Für einen übersichtlicheren Vergleich der Untersuchungsgebiete wurde je Gebiet das arithmetische Mittel der beiden Diversitätsmaße nach dem Shannon-Index und dem Margalef-Index sowie der Evenness ermittelt (Nullwert bereinigt). Die Ergebnisse sind in Abb. K5-41 dargestellt.

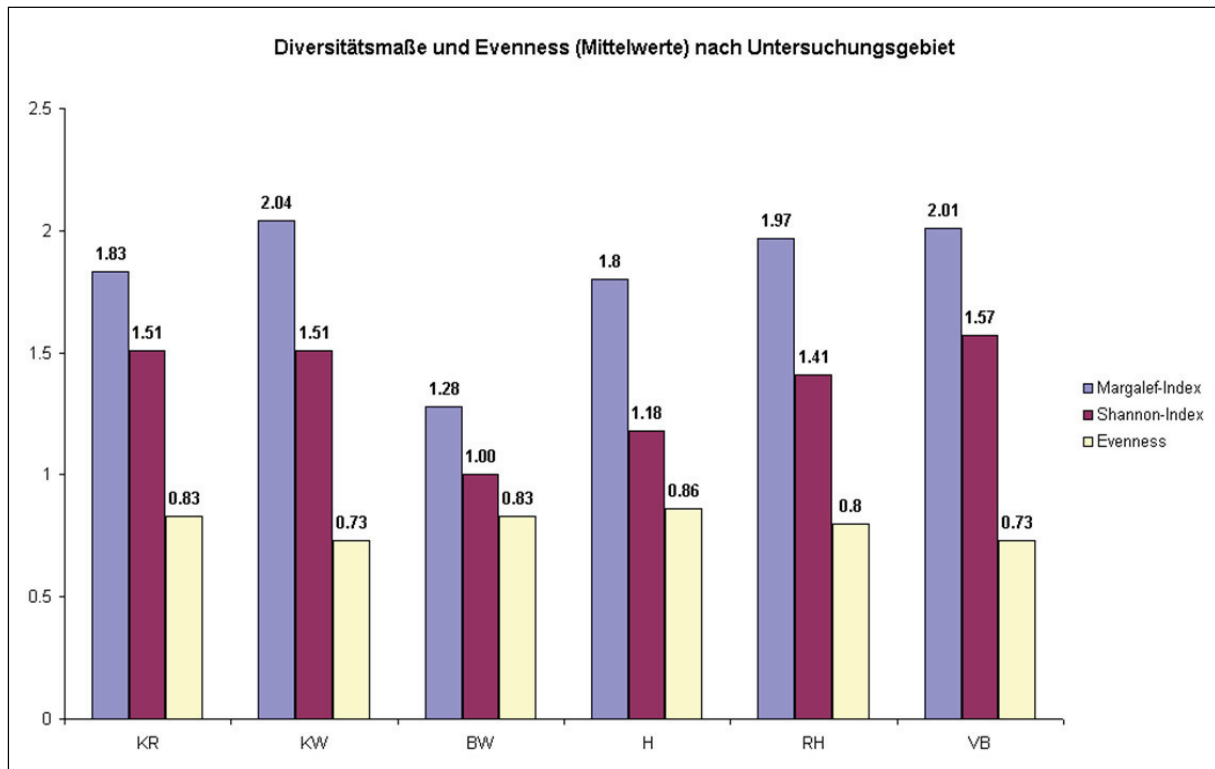


Abb. K5-41: Diversitätsmaße (Shannon- und Margalef-Index) und Evenness als Mittelwerte nach Untersuchungsgebiet. Abkürzungen: KW: Kellerwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein). Eigene Darstellung

Die höchste Artenvielfalt besitzen die Quellen im Naturwaldreservat Niddahänge (Vogelsberg) und im Nationalpark Kellerwald-Edersee. Auch in Abb. K5-41 wird die geringere Biodiversität in den Quellen des Burgwaldes ersichtlich.

Hinsichtlich der Gleichverteilung der Individuen nach Arten (Evenness) kann ein in allen Untersuchungsgebieten hoher Indexwert, also eine im hohen Maß ausgeprägte Gleichverteilung festgestellt werden. Das bedeutet, ein Verteilungsschwerpunkt von hohen Individuenzahlen auf bestimmte Arten ist nicht erkennbar.

### Artzusammensetzung

Die Auswertung eines Vergleichs der Artzusammensetzung aller untersuchten Quellen nach Abundanzwerten ergibt mittels hierarchischer Clusteranalyse (in den Grafiken als Linien dargestellt, die entsprechende Distanzmaße angeben) und einer nicht-metrischen multidimensionalen Skalierung (=nMDS; in den Grafiken als Kästen, also Punkte im Sinne von X- und Y-Werten dargestellt), dass für die überwiegende Mehrzahl der Quellen die Artzusammensetzung sehr ähnlich ist, d.h. sich in einer

Klasse abbilden lässt (Abb. K5-42). Lediglich die Quellen BW-19, BW-26 und H-08 bilden jeweils eigene Klassen. Mit einem Stresswert von 0,1 zur Einschätzung der Güte der nMDS lässt sich das Ergebnis als zuverlässig einstufen (LEYER & WESCHE 2007).

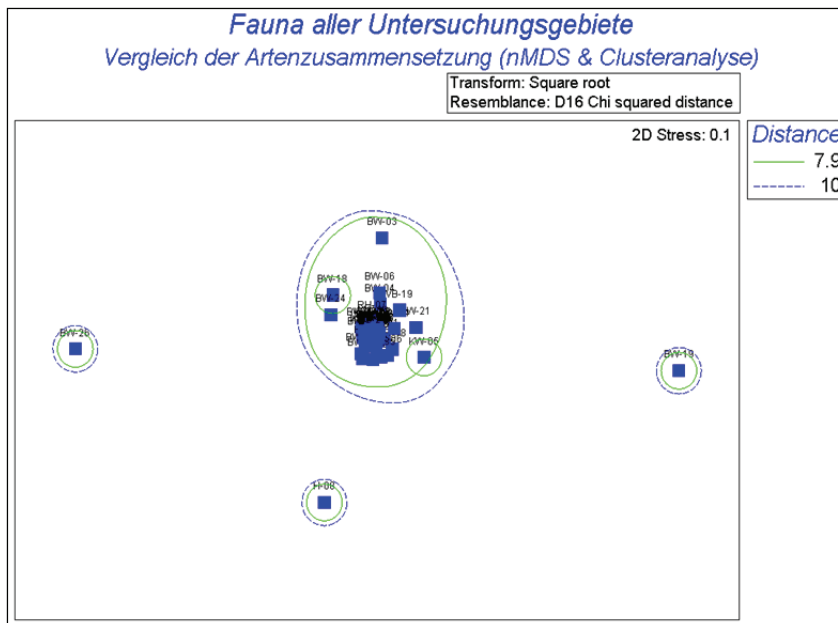


Abb. K5-42: Vergleich der Artzusammensetzung aller untersuchten Quellen. Eigene Darstellung (mit PRIMER 6.0)

#### SIMPER-Analyse aller Untersuchungsgebiete (Mittlere Ähnlichkeit: 21,07)

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Pisidium</i> sp.	1.16	4.25	0.56	20.16	20.16
<i>Anacaena</i> sp.	0.81	3.00	0.56	14.22	34.38
<i>Nemoura</i> sp.	0.78	1.98	0.36	9.39	43.77
<i>Crunoecia irrorata</i>	0.90	1.80	0.48	8.53	52.30
<i>Sericostoma</i> sp.	0.96	1.64	0.44	7.77	60.07
<i>Gammarus fossarum</i>	1.28	1.55	0.30	7.35	67.42
<i>Bythinella dunkeri</i>	1.34	1.47	0.28	7.00	74.42
<i>Dixa</i> sp.	0.50	0.94	0.39	4.48	78.90
<i>Trichoniscus</i> sp.	0.56	0.87	0.33	4.13	83.03
<i>Bythinella compressa</i>	0.77	0.60	0.19	2.83	85.86
<i>Leuctra</i> sp.	0.47	0.57	0.29	2.72	88.58
<i>Crenobia alpina</i>	0.61	0.50	0.23	2.37	90.96

Tab. K5-15: SIMPER-Analyse der untersuchten Quellen (Gesamt)

In Tab. K5-15 sind die Taxa angegeben, die zur Ähnlichkeit der Artzusammensetzung der gesamten Quellen in allen Untersuchungsgebieten beitragen. Vor allem die Quellerbsenmuschel *Pisidium* sp., der Wasserkäfer *Anacaena* sp., die Steinfliege *Nemoura* sp. und die Quellköcherfliege *Crunoecia irrorata* sind mit einem kumulativen Beitrag von über 50% „erklärende Taxa“ für die Ähnlichkeit der Faunakomposition aller untersuchten Quellen.

Fasst man den Datensatz der Quellen nach Untersuchungsgebiet zusammen, in dem für jedes Taxon (Art, Gattung) das arithmetische Mittel der Abundanz gebildet wird, so zeigt eine Clusteranalyse deutliche Einteilungen der Untersuchungsgebiete in unterschiedliche Klassen, allerdings mit geringen Distanzmaßen (Abb. K5-43). Eine



Unterteilung ist darstellbar, bedeutet aber qualitativ, dass es sich um weitestgehend sehr ähnliche Biozönosen handelt.

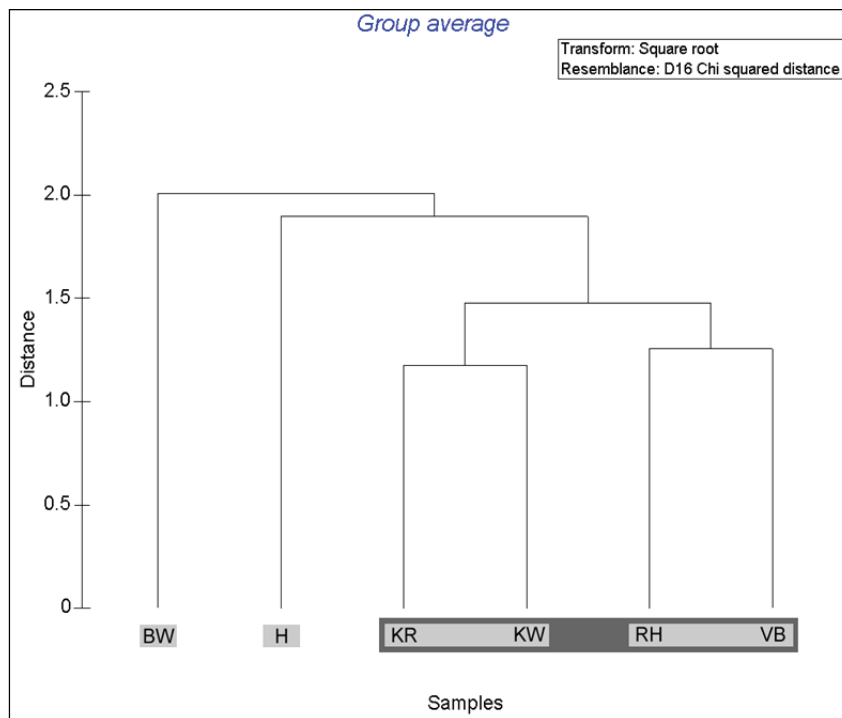


Abb. K5-43: Clusteranalyse der Fauna (mittlere Abundanz der Arten und Gattungen) nach Untersuchungsgebiet. Eigene Darstellung (mit PRIMER 6.0)

Die Zusammensetzung der Fauna lässt drei wesentliche Gruppen erkennen. Die Fauna im Burgwald, im Hainich sowie in der Rhön (Schafstein), Vogelsberg (Niddahänge), Krofdorfer Forst und Kellerwald. Die Fauna des Schafsteins und der Niddahänge sowie die Fauna im Krofdorfer Forst und im Kellerwald zeigen eine jeweils sehr nahe Verwandtschaft.

Die im Folgenden wiedergegebene Analyse nach regionalen Datensätzen, also getrennt nach Untersuchungsgebieten, ergibt eine Differenzierung in der Darstellung der Artzusammensetzungen.

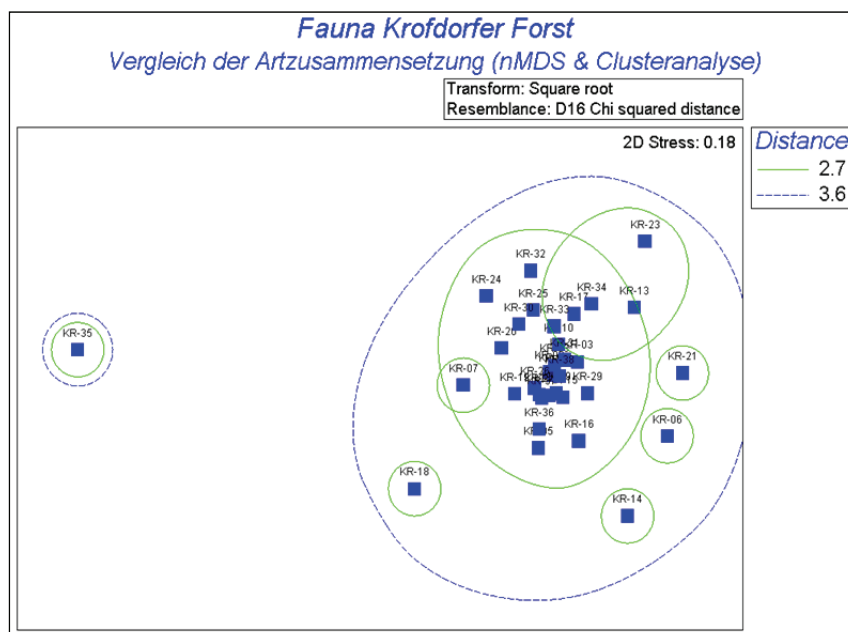


Abb. K5-44: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen im Krofdorfer Forst. Eigene Darstellung (mit PRIMER 6.0)

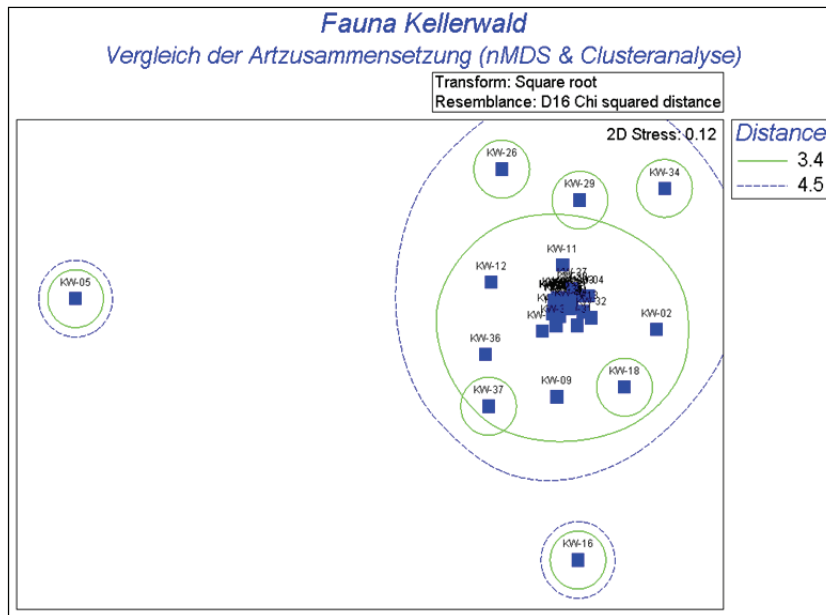


Abb. K5-45: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen im Kellerwald. Eigene Darstellung (mit PRIMER 6.0)

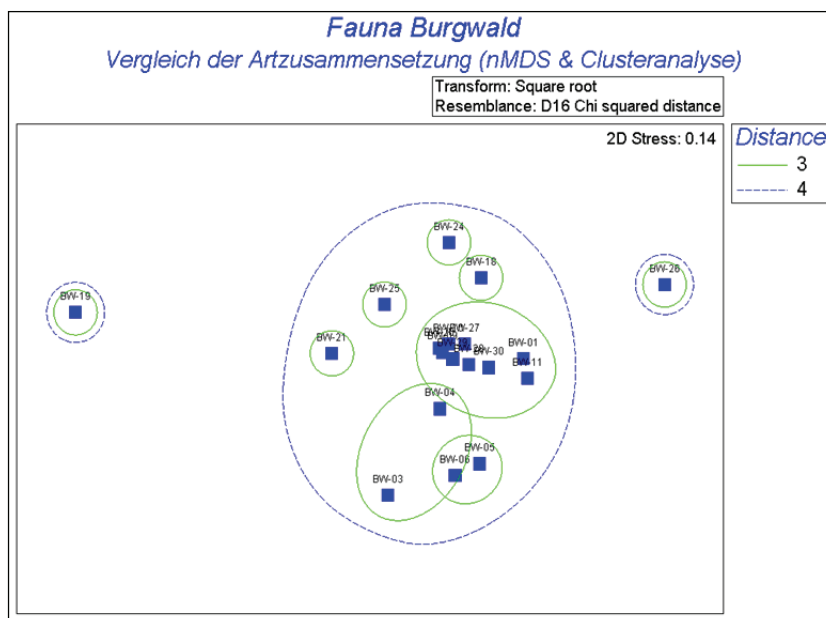


Abb. K5-46: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen im Burgwald. Eigene Darstellung (mit PRIMER 6.0)

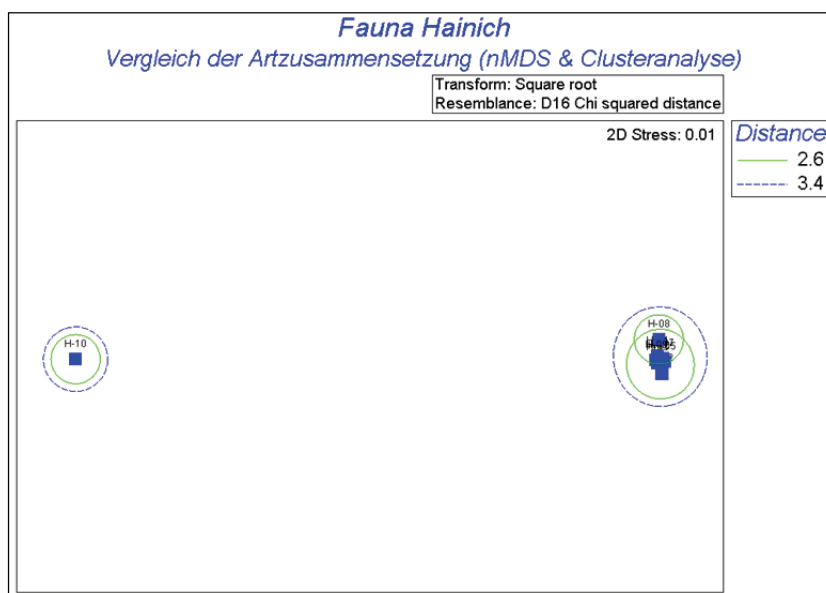


Abb. K5-47: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen im Hainich. Eigene Darstellung (Auswertung mit PRIMER 6.0)

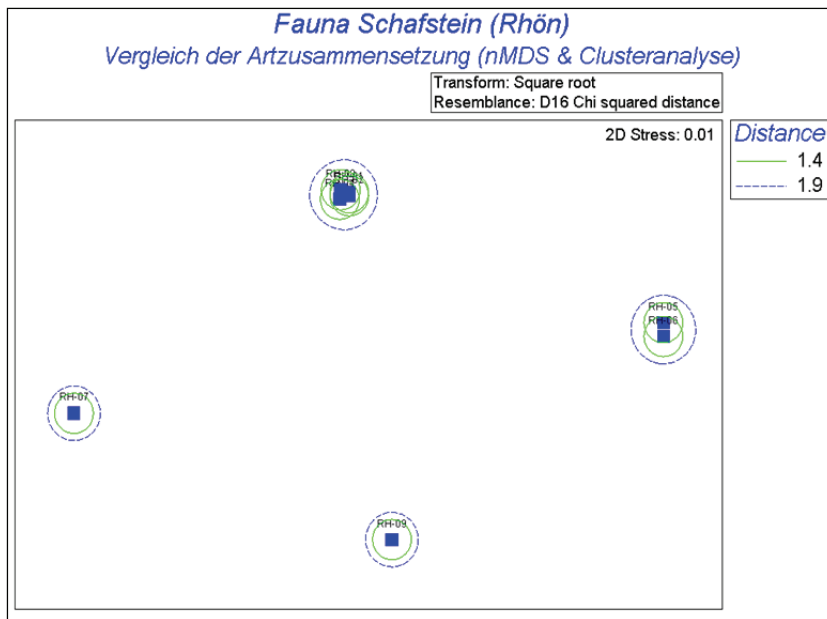


Abb. K5-48: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen in der Rhön (Schafstein). Eigene Darstellung (mit PRIMER 6.0)

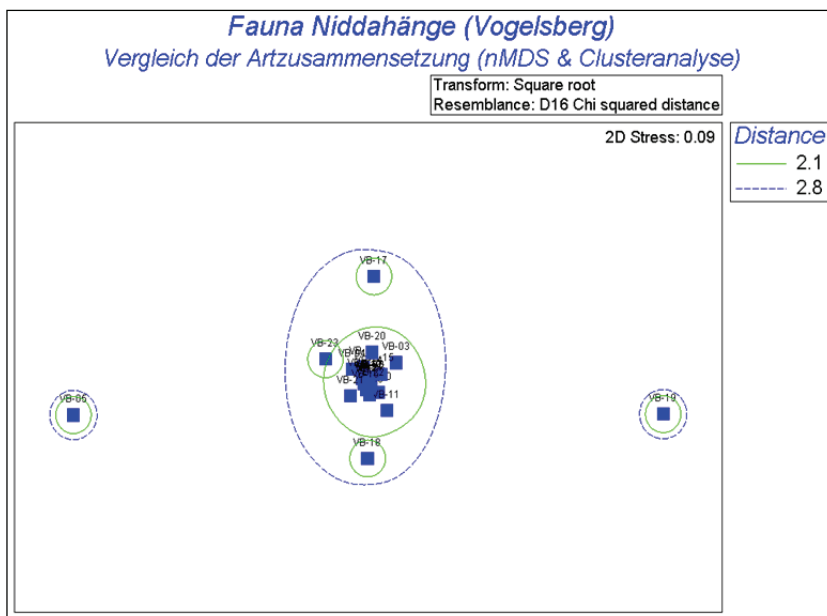


Abb. K5-49: Vergleich der Artzusammensetzung (nMDS & Clusteranalyse) der Quellen im Vogelsberg (Niddahänge). Eigene Darstellung (mit PRIMER 6.0)

Die Artzusammensetzung im **Krofdorfer Forst** (Abb. K5-44) kann zunächst in zwei Klassen erfolgen, wobei bis auf ein Objekt (KR-35) die Komposition von Gattungen und Arten im Vergleich der Quellen weitestgehend ähnlich ist. Lediglich vier Quellen zeigen eine separate Artzusammensetzung. Der Stresswert gibt mit 0,18 zwar eine noch ausreichende Güte der nMDS an, doch besteht die Gefahr von Fehlinterpretationen, weshalb keine detaillierte Auslegung erfolgen sollte.

Ein Vergleich der Artzusammensetzung im **Kellerwald** (Abb. K5-45) zeigt in der Gegenüberstellung mit den anderen Untersuchungsgebieten zwar das höchste Distanzmaß der Ähnlichkeitsanalyse, allerdings bilden auch hier die meisten Objekte eine Klasse und sind bezogen auf das Untersuchungsgebiet Kellerwald nicht besonders heterogen zusammengesetzt. Lediglich Einzelobjekte wie die Quelle KW-05, und KW-16 bilden jeweils einzelne, unterschiedliche Klassen. Mit einem Stresswert von 0,12 sollten die Details der nMDS jedoch nicht weiter interpretiert werden.

Die Artzusammensetzung im **Burgwald** (Abb. K5-46) zeigt in der Darstellung des Ordinationsverfahrens eine Klasse mit den meisten Quellen sowie zwei separate

Klassen mit je einer Quelle. Ähnlich wie im Kellerwald sind zwar Differenzierungen von Unterklassen innerhalb der Klasse mit den meisten Objekten erkennbar, aber auch hier spricht der Stresswert von 0,14 gegen eine weitere Interpretationen der Details.

Die Ordination der Quellen im **Hainich** (Abb. K5-47) hinsichtlich der Artzusammensetzung zeigt sehr deutlich, dass sich die Fauna der überwiegenden Mehrzahl der Quellen sehr ähnlich ist. Nur Quelle H-10 bildet eine eigene Klasse. Die Qualität der nMDS ist mit einem Stresswert von 0,01 als hervorragend einzustufen, so dass dieses Ergebnis zuverlässig ist.

Eine ebenso gute Qualität der nMDS wie im Hainich zeigt sich in der Darstellung der Artzusammensetzung in der **Rhön**, im Untersuchungsgebiet Schafstein (Abb. K5-48). Allerdings ist die Faunazusammensetzung in diesem Gebiet sehr heterogen bzw. die einzelnen Objekte zeigen mehr Unähnlichkeiten, da vier unterschiedliche Klassen, mit weit voneinander entfernte Objekten zu sehen sind. 5 von 9 Quellen bilden zumindest eine Klasse, trotzdem sind die Unterschiede im Vergleich der Untersuchungsgebiete in der Rhön besonders ausgeprägt.

Die Artzusammensetzung im Untersuchungsgebiet der Niddahänge im **Vogelsberg** (Abb. K5-49) ist aufgrund einer Klasse, in der die meisten Quellen zu finden sind als weitestgehend ähnlich zu charakterisieren. Dafür spricht auch der gute Stresswert von 0,9, der das Ergebnis als höchst wahrscheinlich zuverlässig einstuft. Lediglich zwei Quellen (VB-05 und VB-19) bilden eigene Klassen und somit eine eigene, solitäre Faunazusammensetzung.

Zur Einschätzung, welche Taxa für Gemeinsamkeiten in der Artzusammensetzung verantwortlich sind, also welches Taxon als Indikator in einer Gruppe für die Gemeinsamkeit der Faunakomposition steht, werden die Ergebnisse der SIMPER-Analyse nach Untersuchungsgebiet dargestellt. Hierbei sind die Taxa in der Reihenfolge ihrer „Indikatoreigenschaft“ aufgelistet, wobei die Güte der Indikatoreignung höher einzustufen ist, umso größer der Wert der Standardabweichung ist (CLARKE & WARWICK 2001) (Tab. K5-16 bis Tab. K5-21).

#### Krofdorfer Forst (KR) – SIMPER-Analyse (Mittlere Ähnlichkeit: 29,94)

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Nemoura</i> sp.	1,45	6,78	0,84	22,64	22,64
<i>Crunoecia irrorata</i>	1,66	6,17	0,85	20,62	43,25
<i>Pisidium</i> sp.	1,25	5,72	0,62	19,12	62,37
<i>Gammarus fossarum</i>	1,35	2,48	0,40	8,28	70,65
<i>Anacaena</i> sp.	0,68	2,06	0,44	6,90	77,55
<i>Dixa</i> sp.	0,68	1,55	0,46	5,17	82,72
<i>Bythinella dunkeri</i>	0,91	1,25	0,33	4,17	86,89
<i>Galba truncatula</i>	0,49	0,89	0,32	2,98	89,87
<i>Niphargus aquilex</i>	0,38	0,61	0,22	2,03	91,90

Tab. K5-16: SIMPER -Analyse für den Krofdorfer Forst



## Kellerwald (KW) – SIMPER-Analyse (Mittlere Ähnlichkeit: 31,69)

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Bythinella dunkeri</i>	3,55	8,44	0,83	26,63	26,63
<i>Sericostoma</i> sp.	1,61	4,03	0,78	12,73	39,36
<i>Anacaena</i> sp.	1,11	3,75	0,94	11,82	51,17
<i>Pisidium</i> sp.	1,07	3,16	0,51	9,96	61,14
<i>Trichoniscus</i> sp.	1,12	2,65	0,67	8,36	69,49
<i>Crunoecia irrorata</i>	1,08	2,46	0,72	7,77	77,26
<i>Leuctra</i> sp.	0,92	1,82	0,56	5,73	82,99
<i>Gammarus pulex</i>	1,48	1,66	0,30	5,22	88,21
<i>Dixa</i> sp.	0,44	0,61	0,36	1,91	90,13

Tab. K5-17: SIMPER -Analyse für den Kellerwald

## Burgwald (BW) – SIMPER-Analyse (Mittlere Ähnlichkeit: 22,92)

Taxon	Mittlere A-bundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Anacaena</i> sp.	1,30	13,01	1,04	56,75	56,75
<i>Nemoura</i> sp.	1,11	5,54	0,47	24,19	80,94
<i>Pisidium</i> sp.	0,79	1,51	0,29	6,58	87,52
<i>Trichoniscus</i> sp.	0,32	0,75	0,23	3,26	90,78

Tab. K5-18: SIMPER -Analyse für den Burgwald

## Hainich (H) – SIMPER-Analyse (Mittlere Ähnlichkeit: 23,39)

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Pisidium</i> sp.	1,56	8,84	0,76	37,81	37,81
<i>Carychium tridentatum</i>	0,69	3,94	0,59	16,85	54,66
<i>Bezzia</i> sp.	0,60	2,16	0,43	9,25	63,92
<i>Carychium</i> sp.	0,69	2,16	0,43	9,25	73,17
<i>Dixa</i> sp.	0,53	1,98	0,43	8,45	81,62
<i>Galba truncatula</i>	0,41	1,25	0,29	5,36	86,98
<i>Anacaena</i> sp.	0,33	1,10	0,30	4,72	91,70

Tab. K5-19: SIMPER -Analyse für den Hainich

## Rhön (RH) – SIMPER-Analyse (Mittlere Ähnlichkeit: 32,85)

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Pisidium</i> sp.	1,94	13,45	1,14	40,95	40,95
<i>Niphargus schellenbergi</i>	1,28	5,02	0,65	15,28	56,23
<i>Bythinella compressa</i>	2,51	4,93	0,68	15,00	71,23
<i>Monachoides incarnatus</i>	0,72	1,93	0,71	5,89	77,12
<i>Nemoura</i> sp.	0,93	1,69	0,49	5,15	82,27
<i>Sericostoma</i> sp.	1,18	1,52	0,49	4,64	86,90
<i>Niphargus</i> sp.	0,78	1,50	0,47	4,56	91,46

Tab. K5-20: SIMPER -Analyse für den Schafstein (Rhön)

## Vogelsberg (VB) – SIMPER-Analyse (Mittlere Ähnlichkeit: 47.97)

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Bythinella compressa</i>	3.45	12.48	1.61	26.01	26.01
<i>Gammarus fossarum</i>	3.58	10.47	1.00	21.83	47.84
<i>Crenobia alpina</i>	1.97	6.01	1.23	12.52	60.36
<i>Sericostoma</i> sp.	1.63	4.51	0.89	9.40	69.77
<i>Monachoides incarnatus</i>	1.17	3.75	0.89	7.83	77.59
<i>Pisidium</i> sp.	1.06	2.84	0.78	5.91	83.50
<i>Dixa</i> sp.	0.67	1.43	0.62	2.98	86.48
<i>Crunoecia irrorata</i>	0.72	1.28	0.54	2.66	89.15
<i>Nemoura</i> sp.	0.74	1.21	0.45	2.52	91.67

Tab. K5-21: SIMPER -Analyse für die Niddahänge (Vogelsberg)

Die Arten, die als Indikatoren der Ähnlichkeit bei der Artzusammensetzung einen besonderen Stellenwert einnehmen, sind (nach dem Vorkommen in den SIMPER-Analysen in den jeweiligen Untersuchungsgebieten): 6 von 6: *Pisidium* sp.; 4 von 6: *Anacaena* sp., *Dixa* sp., *Nemoura* sp.; 3 von 6: *Crunoecia irrorata*, *Sericostoma* sp.; 2 von 6: *Bythinella compressa*, *Bythinella dunkeri*, *Galba truncatula*, *Gammarus fossarum*, *Monachoides incarnatus*, *Trichoniscus* sp.; 1 von 6: *Bezzia* sp., *Carychium* sp., *Carychium tridentatum*, *Crenobia alpina*, *Gammarus pulex*, *Leuctra* sp., *Niphargus aquilex*, *Niphargus schellenbergi*, *Niphargus* sp..

Untersuchungsgebiet		Krenobionte	Krenophile	Quelltypische Arten	Arten/Gattungen insg.
KR	absolut	6	4	10	36
	relativ	16,7%	11,1%	27,8%	100%
KW	absolut	12	4	16	50
	relativ	24%	8%	32%	100%
BW	absolut	4	4	8	32
	relativ	12,5%	12,5%	25%	100%
H	absolut	0	2	2	18
	relativ	0%	11,1%	11,1%	100%
RH	absolut	7	2	9	26
	relativ	26,9%	7,7%	34,6%	100%
VB	absolut	9	4	13	36
	relativ	25%	11,1%	36,1%	100%

Tab. K5-22: Anteil krenobionter und krenophiler Arten/Gattungen (= quelltypische Arten/Gattungen) nach Untersuchungsgebiet

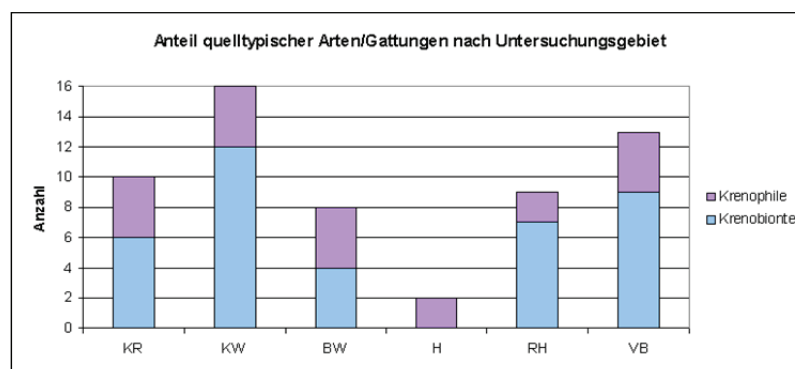


Abb. K5-50: Anteil quelltypischer Arten/Gattungen nach Untersuchungsgebiet. Eigene Darstellung

Unabhängig von der Betrachtung, welche Arten zu ähnlichen oder eher unähnlichen Faunazusammensetzungen führen, zeigt die Kennzeichnung der Untersuchungs-

gebiete mit Hilfe der Charakterisierung quelltypischer Arten (krenobionte und krenophile Arten) regionale Disparitäten, die zum Teil erheblich sind (Tab. K5-22 und Abb. K5-50). Im Vergleich der Untersuchungsgebiete untereinander (Abb. K5-50) wird anhand der Gegenüberstellung der absoluten Anzahl quelltypischer Arten deutlich, dass die überwiegend sehr ähnliche Artzusammensetzung im Hainich die wenigsten krenobionten und krenophilen Arten aufweist. Dagegen wird der hohe Anteil quelltypischer Arten in den Untersuchungsgebieten Kellerwald und Vogelsberg besonders deutlich. Betrachtet man die Faunazusammensetzung innerhalb der einzelnen Untersuchungsgebiete hinsichtlich quelltypischer Arten, so ergibt sich in der Gegenüberstellung noch einmal ein differenzierteres Bild. Denn hinsichtlich des relativen Anteils, zeigt sich auch ein hoher Anteil quelltypischer Arten in den Quellen der Rhön (Schafstein). Außerdem ist der Anteil krenobionter und krenophiler Arten in den untersuchten Quellen im Vogelsberg am höchsten.

### Fauna und Standorteigenschaften

Die Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen und Nichtvorkommen der Taxa und entsprechender Standorteigenschaften wird im Folgenden quantitativ analysiert. Qualitative Interpretationen zum statistischen Zusammenhang und der Artzusammensetzung sind Gegenstand der Diskussion (Kapitel 6).

Ein Vergleich quantitativer Werte wird anhand der Korrelation des Shannon-Index und dem Anteil quelltypischer Arten mit ausgewählten Standort-Parametern vorgenommen (Abb. K5-51).

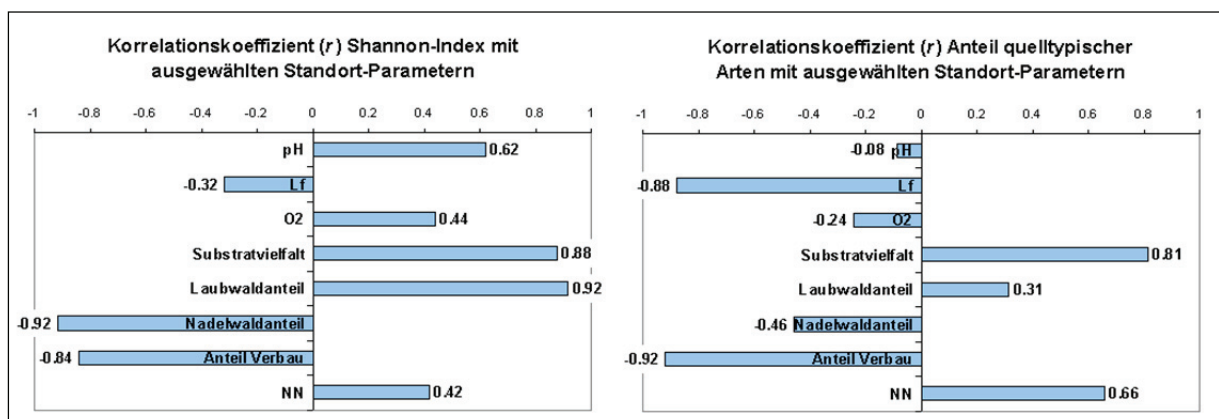


Abb. K5-51: Korrelationskoeffizient zwischen Shannon-Index (links) und dem Anteil quelltypischer Arten (rechts) mit ausgewählten Standortparametern. Es werden jeweils die Mittelwerte der Parameter nach Untersuchungsgebiete miteinander verglichen

Eine sehr starke statistische Übereinstimmung zwischen dem Biodiversitätsmaß (Shannon-Index; Abb. K5-51 links) besteht vor allem mit dem *Laubwaldanteil* ( $r = 0,92$ ) und der *Substratvielfalt* ( $r = 0,88$ ). Demgegenüber ist der Shannon-Index sehr stark negativ mit dem *Nadelwaldanteil* ( $r = -0,92$ ) und dem *Anteil an Verbau* ( $r = -0,84$ ) korreliert. Eine mittlere Übereinstimmung besteht mit dem *pH-Wert* ( $r = 0,62$ ) sowie ein schwacher statistischer Zusammenhang zu den Parametern *elektrische Leitfähigkeit* ( $r = -0,32$ ), *Meereshöhe in NN* ( $r = 0,44$ ) sowie *Sauerstoffgehalt* ( $r = 0,44$ ). Der Korrelationskoeffizient zwischen dem Anteil quelltypischer Arten (vgl. Tab. K5-22) und den ausgewählten Standortparametern (Abb. K5-51 rechts) zeigt einige Unterschiede der statistischen Übereinstimmung. Der Korrelationskoeffizient gibt einen sehr starken Zusammenhang zur *Substratvielfalt* an und steht in einem sehr stark negativen Verhältnis mit den Parametern *elektrische Leitfähigkeit* und *Anteil Verbau*. Alle weiteren Parameter sind, mit Ausnahme der *Meereshöhe in NN* ( $r =$

0,66; mittlerer Zusammenhang) schwach korreliert. In beiden Vergleichen sind die Parameter *Substratvielfalt* und der *Anteil Verbau* maßgebliche Variablen, die auf die Eigenschaften Biodiversität und den Anteil quelltypischer Taxa bezüglich der Fauna einen sehr starken Zusammenhang anzeigen.

Die Befunde lassen sich durch eine Hauptkomponentenanalyse (HKA bzw. PCA = *principal component analysis*) bestätigen, wobei in diesem Ordinationsverfahren Standortfaktoren ähnlicher Varianz in einer Hauptkomponente (x-Achse = F1) und einer „Restvarianz“ (y-Achse = F2) zusammengefasst werden (Abb. K5-52 und Tab. K5-23).

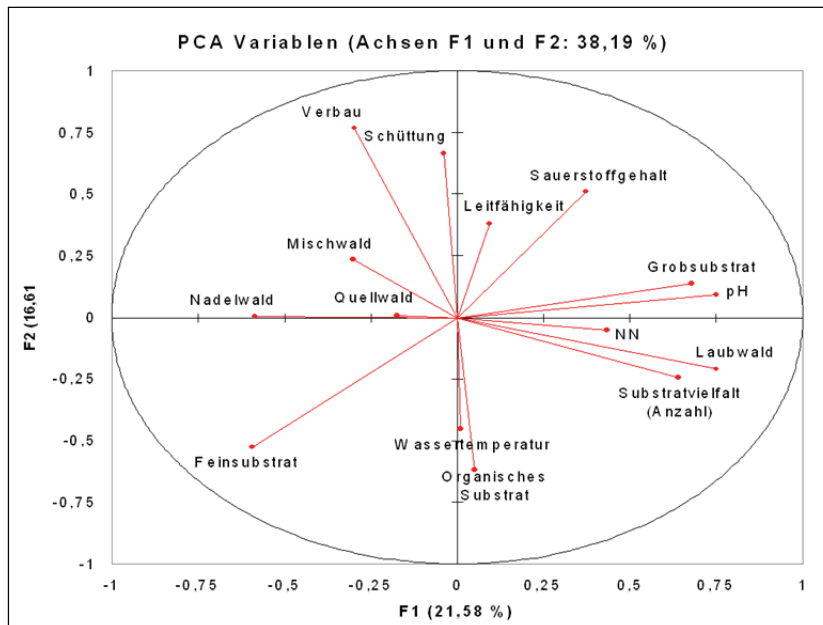


Abb. K5-52:  
Hauptkomponentenanalyse  
unterschiedlicher  
Standortfaktoren. Eigene  
Darstellung (mit XLSTAT)

Variable	F1 (Ladung)	F1 (%)	F2 (Ladung)	F2 (%)
NN (Meereshöhe)	0,433	5,8	-0,052	0,1
Wassertemperatur	0,009	0,0	-0,452	8,2
pH-Wert	0,751	17,4	0,090	0,3
Leitfähigkeit	0,095	0,3	0,381	5,8
Sauerstoffgehalt	0,372	4,3	0,511	10,5
Schüttung	-0,038	0,0	0,664	17,7
Substratvielfalt	0,640	12,6	-0,242	2,4
Anteil Grobsubstrat	0,677	14,2	0,137	0,7
Anteil Feinsubstrat	-0,593	10,9	-0,527	11,2
Anteil Organisches Substrat	0,050	0,1	-0,620	15,4
Verbau dominiert	-0,298	2,7	0,769	23,7
Quellwald als dominanter Umfeldtyp	-0,174	0,9	0,009	0,0
Laubwald als dominanter Umfeldtyp	0,749	17,3	-0,209	1,8
Mischwald als dominanter Umfeldtyp	-0,302	2,8	0,234	2,2
Nadelwald als dominanter Umfeldtyp	-0,586	10,6	0,005	0,0
Anteil als beitragende Variable insgesamt (%)		100		100

Tab. K5-23: Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse (Ladung und Anteil als beitragende Variable in Prozent) zu Abb. K5-52. Die Ladungswerte sind die Ergebnisse der Korrelation (Pearson) der Variablen untereinander (Entfernung im Koordinatensystem vom Nullpunkt in Abb. K5-52). F1 erklärt 21,6% der Variabilität; F2 dagegen 16,1% (F1 und F2 zusammen 38,2%)



Die Hauptkomponentenanalyse (Abb. K5-52 und Tab. K5-23) zeigt vor allem für die Standortfaktoren *pH-Wert*, *Laubwald als dominierender Umfeldtyp* (bzw. generell Waldform als Umfeldtyp), *Substratvielfalt*, *Anteil Organisches Substrat* sowie Anteil *Fein- und Grobsubstrat* eine ähnliche Varianz und hohe Ladung, d.h. diese Variablen können sehr gut zur Kennzeichnung der Unterschiede zwischen den Quellen herangezogen werden. Variablen wie *Meereshöhe*, *elektrische Leitfähigkeit* oder *Wassertemperatur* haben keine besondere Bedeutung zur Kennzeichnung der Unterschiede zwischen den Quellen.

Die Bedeutung des Substrats wird in Kapitel 5.4 näher dargestellt, allerdings zeigt das Ergebnis aus den o.g. Analysen die besondere Stellung des Substrats zur Unterscheidung der Quellen. Eine weitere, besondere Bedeutung kommt der Waldform des Quellumfelds zu, die in ihrer Struktur in Kapitel 5.3 beschrieben wird.

### Ernährungstypen

Trophische Verhältnisse in Quellgewässern werden mittels einer art- und gattungsbezogenen Auswertung der Ernährungstypen gekennzeichnet. Zudem erscheint die Einordnung sinnvoll, um Substratpräferenzen bestimmter Taxa zu interpretieren, da die Ernährungsweise von Organismen zur Analyse der Wahl von Mikrohabitaten beitragen kann. Außerdem gibt es sehr wenige Studien, die Quellen differenziert nach Teillebensräumen hinsichtlich der Ernährungstypen betrachten (FISCHER ET AL. 1998).

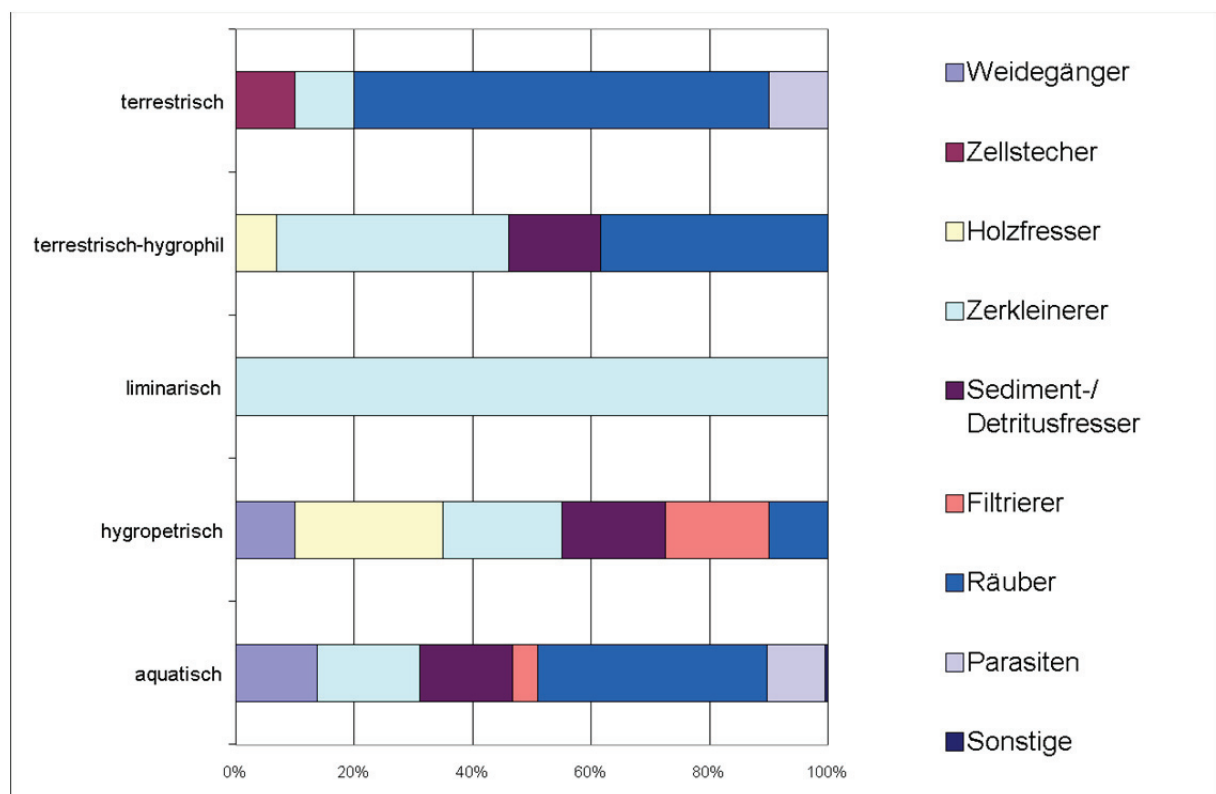


Abb. K5-53: Ernährungstypen nach Teillebensraum im Eukrenal der Quellgewässer. Eigene Darstellung

Faunabereich aquatisch		Ernährungstyp								
Taxon	Abundanzklasse	WEI	ZST	HOL	ZKL	SED/DET	FIL	RAU	PAR	SON
<i>Agabus</i> sp.	1							9		1
<i>Amphimura</i> sp.	1	3			5	2				
<i>Arenurus fontinalis</i>	3							7	3	
<i>Atractodes fonticolus</i>	1							7	3	
<i>Bezzia</i> sp.	1				*	*		*		
<i>Bythinella compressa</i>	2	7				3				
<i>Bythinella dunkeri</i>	3	10								
<i>Clinocera</i> sp.	1	4				2	4			
<i>Cordulegaster bidentatus</i>	2							10		
<i>Crenobia alpina</i>	2							10		
<i>Dugesia gonocephala</i>	1					2				
<i>Galba truncatula</i>	1	3			3	4		8		+
<i>Gammarus fossarum</i>	3	1		+	7	2		+		
<i>Gammarus pulex</i>	3	1		+	7	2		+		
<i>Gammarus</i> sp.	2	1		+	6	2		+		1
<i>Habroplectoides confusa</i>	1	7				3				
<i>Helophorus</i> sp.	1	*			*	*				
<i>Hydrovolzia placophora</i>	1							7	3	
<i>Hygrobates norvegicus</i>	1							7	3	
<i>Lebertia lativentris</i>	1							10		
<i>Lebertia selvei</i>	1							10		
<i>Leuctra</i> sp.	1	2								
<i>Lobohalacarus weberi</i>	1				4	4				
<i>Nemoura</i> sp.	2	+			6	4				
<i>Niphargus aquilex</i>	1					10				
<i>Niphargus schellenbergi</i>	2					10				
<i>Niphargus</i> sp.	1					10				
<i>Paniselus thienemanni</i>	1							7	3	
<i>Paniscus tomenticolus</i>	1							7	3	
<i>Parasoldanellonyx parviscutatus</i>	1									
<i>Parathys palustris</i>	1							7	3	
<i>Partunina steinmanni</i>	1							7	3	
<i>Pedicia rivosa</i>	1							10		
<i>Pisidium</i> sp.	2						10			
<i>Polycelis felina</i>	2							10		
<i>Protonemura</i> sp.	1	2			6	2				
<i>Protzia</i> sp.	1							7	3	
<i>Protzia squamosa squamosa</i>	1							7	3	
<i>Radix</i> sp.	1	5			2	3				+
<i>Sericostoma</i> sp.	2	1			7	1		1		
<i>Soldanellonyx chappuisi</i>	1									
<i>Soldanellonyx monardi</i>	1									
<i>Sperchon mutilus</i>	1							7	3	
<i>Sperchon squamosus</i>	1							7	3	
<i>Sperchon thienemanni</i>	1							7	3	
<i>Velia</i> sp.	1							10		
<b>Summe (Abundanz*Ernährungstypvalenz)</b>		80	0	0	100	91	24	224	57	3
Faunabereich hygropetricus		Ernährungstyp								
Taxon	Abundanzklasse	WEI	ZST	HOL	ZKL	SED/DET	FIL	RAU	PAR	SON
<i>Anacaena</i> sp.	1	4			2	4				
<i>Crucocia inornata</i>	2			5	3			2		
<i>Dixa</i> sp.	1					3	7			
<b>Summe (Abundanz*Ernährungstypvalenz)</b>		4	0	10	8	7	7	4	0	0
Faunabereich liminaris		Ernährungstyp								
Taxon	Abundanzklasse	WEI	ZST	HOL	ZKL	SED/DET	FIL	RAU	PAR	SON
<i>Carychium</i> sp.	1				10					
<i>Carychium tridentatum</i>	1				10					
<b>Summe (Abundanz*Ernährungstypvalenz)</b>		0	0	0	20	0	0	0	0	0
Faunabereich terrestrisch-hygrophil		Ernährungstyp								
Taxon	Abundanzklasse	WEI	ZST	HOL	ZKL	SED/DET	FIL	RAU	PAR	SON
<i>Cicadella viridis</i>	1		10							
<i>Cochlicopa</i> sp.	1				*	*				
<i>Discus rotundatus</i>	1				*	*				
<i>Eiseniella tetraedra</i>	1					10				
<i>Ligidium hypnorum</i>	1			2	6	2				+
<i>Limonia nubeculosa</i>	1				10					
<i>Metellina merianae</i>	1							10		
<i>Monachoides incarnatus</i>	1			*	*					
<i>Nemastoma lugubre</i>	1							10		
<i>Oligolophus tridens</i>	1							10		
<i>Oniscus asellus</i>	2			2	6	2				+
<i>Oxychilus</i> sp.	1							*		
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i>	1							10		
<i>Polydesmus</i> sp.	1			3	7					
<i>Rilaena triangularis</i>	1							10		
<i>Trichoniscus pusillus</i>	1				8	2				
<i>Trichoniscus</i> sp.	1				8	2				
<b>Summe (Abundanz*Ernährungstypvalenz)</b>		0	0	9	51	20	0	50	0	0
Faunabereich terrestrisch		Ernährungstyp								
Taxon	Abundanzklasse	WEI	ZST	HOL	ZKL	SED/DET	FIL	RAU	PAR	SON
<i>Arianta arbustorum</i>	1				*					
<i>Euconulus fulvus</i>	1			?	*					
<i>Euconulus</i> sp.	1			?	*					
<i>Glomeris marginata</i>	1				10					
<i>Issus coleoptratus</i>	1		10							
<i>Ixodes</i> sp.	1								10	
<i>Lacinius ephippiatus</i>	1							10		
<i>Leiobunum blackwalli</i>	1							10		
<i>Lithobius</i> sp.	1							10		
<i>Mitopus morio</i>	1							10		
<i>Neobisium</i> sp.	1							10		
<i>Opilio</i> sp.	1							10		
<i>Tetragnatha</i> sp.	1							10		
<i>Trichia</i> sp.	1			?	*					
<i>Trombidium holosericeum</i>	1							*	*	
<b>Summe (Abundanz*Ernährungstypvalenz)</b>			10	0	10	0	0	70	10	0

Tab. K5-24: Ernährungstypen der ausgewerteten Gattungen und Arten mit Ernährungstypenvalenzwerten nach SCHMIEDTJE & COLLING (1996) und MOOG (2002). Zahlen 1 bis 10 = Punktzahl bezogen auf Gesamt-Kenngröße 10; \* = deutliche Präferenz ohne Punktzahl; + = eine nicht näher zu bestimmende Präferenz (Gewichtung unbekannt); ? = Präferenz vermutet (unbekannt)

Die Darstellung der Ernährungstypen in Abb. K5-53 zeigt deutliche Unterschiede in der jeweiligen Verteilung der Ernährungsweisen der determinierten Arten und Gattungen nach den Teillebensräumen. Der aquatische Bereich wird zwar von Räubern (Predatoren) dominiert (Anteil 38,7%), jedoch sind weitere 6 Ernährungstypen vorhanden. Insbesondere Zerkleinerer (Anteil 17,3%), Sediment-/Detritusfresser (Anteil 15,7%) und Weidegänger (Anteil 13,8%) sind deutlich präsent. Weitere Ernährungstypen sind Parasiten (Anteil 9,8%), Filtrierer (Anteil 4,1%) und Sonstige (Anteil 0,6%). Der hygropetrische Bereich weist insgesamt 6 unterschiedliche Ernährungstypen auf, wobei keine deutliche Dominanz eines Typs festzustellen ist. Allerdings ist eine andere Ernährungsweise gegenüber den rein aquatischen Faunenelementen vorhanden, nämlich Holzfresser mit einem Anteil von 25%. Weitere Typen sind Zerkleinerer (Anteil 20%), Sediment-/Detritusfresser und Filtrierer (beide mit einem Anteil von 17,5%) sowie Weidegänger und Räuber, jeweils mit einem Anteil von 10%. Der liminarische Bereich, also die sog. Grenzfauna, wird lediglich von *Carychium* repräsentiert, so dass hier nur der Ernährungstyp der Zerkleinerer (100%) zu kennzeichnen ist. Im terrestrisch-hygrophile Bereich können 4 Ernährungstypen festgestellt werden. Es sind vor allem Zerkleinerer (Anteil 39,2%) und Räuber (38,5%) sowie Sediment-/Detritusfresser (Anteil 15,4%) und Holzfresser (6,9%). Der terrestrische Bereich wird von Räubern (Anteil 70%) dominiert. Weitere Ernährungstypen sind Zellstecher, Zerkleinerer und Parasiten (Anteil jeweils 10%).

Tab. K5-24 listet die zur Berechnung herangezogenen Taxa entsprechend des Ernährungstyp auf, wobei Ernährungstypenvalenzwerte nach SCHMEDTJE & COLLING (1996) auf Grundlage eines 10-stufigen Systems nach MOOG (2002) vergeben wurden, welches die Abundanz berücksichtigt. Die Abkürzungen bedeuten: WEI: Weidegänger; ZST: Zellstecher; HOL: Holzfresser; ZKL: Zerkleinerer; SED/DET: Sediment-/Detritusfresser; FIL: Filtrierer; RÄU: Räuber; PAR: Parasiten; SON: Sonstige. Erläuterungen zur Nahrungsaufnahme und der Beschaffenheit der Nahrung finden sich bei SCHMEDTJE & COLLING (1996).

### **Stenotopie, Faunabereich, ökologische Wertezahl und Gefährdung (Rote Liste)**

Die Stenotopie ist ein Maß für die Habitatbindung eines Taxon, d.h. es wird der Grad des Vorkommens einer Art in einem bestimmten Habitat (z.B. Quellgewässer) gekennzeichnet (MÜLLER 1988). In diesem Sinne meint Stenotopie hier den Grad der Quellbindung. Die Einteilung der Tab. K5-24 bis Tab. K5-29 erfolgt nach Zuordnung der Stenotopie, die durch Ökologische Wertezahlen (ÖWZ) gekennzeichnet sind, die zur gewässerökologischen Bewertung (FISCHER 1996) herangezogen werden können. Die ÖWZ sind bezüglich der Einordnung der Wassermilben in Zusammenarbeit mit Dr. Peter Martin (Kiel) ergänzt. Somit können für diese Tiergruppe erstmals Bewertungen nach dem Verfahren von FISCHER (1996) vorgenommen werden. Die Kennzeichnung der Faunabereiche erfolgte nach MOOG (2002; vgl. auch FISCHER ET AL. 1998). Gattungen können in der Roten Liste (RL, hier D = Deutschland; BINOT ET AL. 1998) nicht berücksichtigt werden, so dass eine Einstufung in den Tab. K5-25 bis Tab. K5-30 entsprechend frei bleibt.

<b>Krenobionte Taxa (ÖWZ: 16)</b>				
Taxon	Faunabereich	RL Deutschland	RL Hessen	RL Thüringen
<i>Arrenurus fontinalis</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Atractides fonticolus</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Bythinella compressa</i>	aquatisch	2 - stark gefährdet	R – extrem selten	2 - stark gefährdet
<i>Bythinella dunkeri</i>	aquatisch	3 - gefährdet	3 – gefährdet	keine Angaben
<i>Crenobia alpina</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Hydrovolzia placophora</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Hygrobates norvegicus</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Lebertia lativentris</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Lebertia sefvei</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Partnunia steinmanni</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Pedicia rivosa</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Protzia squamosa squamosa</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Sperchon mutilus</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Crunoecia irrorata</i>	hygropetrisch	3 - gefährdet	nicht gefährdet	nicht gefährdet
<i>Panisellus thienemanni</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Niphargus aquilex</i>	aquatisch	unklar	keine Angaben	keine Angaben
<i>Niphargus schellenbergi</i>	aquatisch	unklar	keine Angaben	keine Angaben
<i>Niphargus</i> sp.	aquatisch			

Tab. K5-25: Zuordnung krenobionter Taxa in Faunabereich und Gefährdungsstatus. Rot: Angaben aus der Roten Liste

<b>Krenophile Taxa (ÖWZ: 8)</b>				
Taxon	Faunabereich	RL Deutschland	RL Hessen	RL Thüringen
<i>Sperchon thienemanni</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Cordulegaster bidentatus</i>	aquatisch	2 - stark gefährdet	2 - stark gefährdet	keine Angaben
<i>Galba truncatula</i>	aquatisch	nicht gefährdet	nicht gefährdet	keine Angaben
<i>Parathyas palustris</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Pisidium</i> sp.	aquatisch			
<i>Polycelis felina</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Sericostoma</i> sp.	aquatisch			
<i>Sperchon squamosus</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Soldanellonyx chappuisi</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet

Tab. K5-26: Zuordnung krenophiler Taxa in Faunabereich und Gefährdungsstatus. Rot: Angaben aus der Roten Liste

<b>Krenophil-rhithrobionte Taxa (ÖWZ: 4)</b>				
Taxon	Faunabereich	RL Deutschland	RL Hessen	RL Thüringen
<i>Paninus torrenticolus</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Agabus</i> sp.	aquatisch			
<i>Habroleptoides confusa</i>	aquatisch	nicht gelistet <sup>1</sup>	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Leuctra</i> sp.	aquatisch			
<i>Lobohalacarus weberi</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Nemoura</i> sp.	aquatisch			
<i>Protonemura</i> sp.	aquatisch			
<i>Velia</i> sp.	aquatisch			
<i>Clinocera</i> sp.	aquatisch, hygropetrisch			
<i>Anacaena</i> sp.	hygropetrisch			
<i>Dixa</i> sp.	hygropetrisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Limonia nubeculosa</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Dugesia gonocephala</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Parasoldanellonyx parviscutatus</i>	aquatisch, terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Gammarus fossarum</i>	aquatisch	nicht gelistet <sup>2</sup>	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Protzia</i> sp.	(krenophil-rhithrobiont) ?	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet

Tab. K5-27: Zuordnung krenophil bis rhithrobionter Taxa in Faunabereich und Gefährdungsstatus. <sup>1</sup> in Nordrhein-Westfalen als „nicht gefährdet“ aufgenommen; <sup>2</sup> in Bayern als „nicht gefährdet“ aufgenommen



**Rhithrobionte Taxa (OWZ: 2)**

Taxon	Faunabereich	RL Deutschland	RL Hessen	RL Thüringen
<i>Amphinemura</i> sp.	aquatisch			
<i>Gammarus pulex</i>	aquatisch	nicht gelistet <sup>1</sup>	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Gammarus</i> sp.	aquatisch			
<i>Helophorus</i> sp.	aquatisch			
<i>Carychium</i> sp.	liminarisch			
<i>Carychium tridentatum</i>	liminarisch	nicht gefährdet	nicht gefährdet	nicht gelistet
<i>Discus rotundatus</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gefährdet	nicht gefährdet	nicht gelistet

Tab. K5-28: Zuordnung rhithrobionter Taxa in Faunabereich und Gefährdungsstatus. Rot: Angaben aus der Roten Liste. <sup>1</sup> in Bayern als „nicht gefährdet“ aufgenommen

**Eurytope Taxa (OWZ: 1)**

Taxon	Faunabereich	RL Deutschland	RL Hessen	RL Thüringen
<i>Bezzia</i> sp.	aquatisch, terrestrisch-hygrophil			
<i>Radix</i> sp.	aquatisch			
<i>Soldanellonyx monardi</i>	aquatisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Glomeris marginata</i>	terrestrisch	nicht gelistet <sup>1</sup>	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Leiobunum blackwalli</i>	terrestrisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Mitopus morio</i>	terrestrisch	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet
<i>Eiseniella tetraedra</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet	nicht gelistet	nicht gelistet

Tab. K5-29: Zuordnung eurytoper Taxa in Faunabereich und Gefährdungsstatus. <sup>1</sup> in Baden-Württemberg als „nicht gefährdet“ aufgenommen

**Sonstige Taxa**

Taxon	Faunabereich	RL (D)
<i>Cicadella viridis</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet
<i>Cochlicopa</i> sp.	terrestrisch-hygrophil	
<i>Ligidium hypnorum</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet
<i>Metellina merianae</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet
<i>Monachoides incarnatus</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gefährdet
<i>Nemastoma lugubre</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet
<i>Oligolophus tridens</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet
<i>Oniscus asellus</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet
<i>Oxychilus</i> sp.	terrestrisch-hygrophil	
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet
<i>Rilaena triangularis</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet
<i>Trichoniscus pusillus</i>	terrestrisch-hygrophil	nicht gelistet
<i>Trichoniscus</i> sp.	terrestrisch-hygrophil	
<i>Arianta arbustorum</i>	terrestrisch	nicht gefährdet
<i>Euconulus fulvus</i>	terrestrisch	nicht gefährdet
<i>Euconulus</i> sp.	terrestrisch	
<i>Issus coleoptratus</i>	terrestrisch	V – Vorwarnliste <sup>1</sup>
<i>Ixodes</i> sp.	terrestrisch	
<i>Lacinius ephippiatus</i>	terrestrisch	nicht gelistet
<i>Lithobius</i> sp.	terrestrisch	
<i>Neobisium</i> sp.	terrestrisch	
<i>Opilio</i> sp.	terrestrisch	
<i>Polydesmus</i> sp.	terrestrisch	
<i>Tetragnatha</i> sp.	terrestrisch	
<i>Trichia</i> sp.	terrestrisch	
<i>Trombidium holosericeum</i>	terrestrisch	nicht gelistet

Tab. K5-30: Zuordnung sonstiger Taxa (Zuordnung nicht geklärt) in Faunabereich und Gefährdungsstatus. Rot: Angaben aus der Roten Liste <sup>1</sup> in Hessen und Thüringen nicht gelistet

### 5.3 Umfeldnutzung und Waldstrukturen

Die Auswertung der insgesamt erfassten 608 Viertelkreissegmente des Quellumfeldes gibt an, dass 98,7% der Flächen eine Landnutzung mit Wald und 1,3% der Flächen eine Landnutzung ohne Wald aufzeigen (Tab. K5-31). Ein voller Kronenschluss der Waldbedeckung wurde an 75% aller untersuchten Quellen, ein teilweiser Kronenschluss für 25% der Quellen festgestellt.

Landnutzung	DG%	NW		NE		SE		SW	
Quell- / Bruchwald	>50%	7	21	7	19	7	11	9	13
	10-50%	14		12		4		4	
Laubwald	>50%	81	85	83	84	89	90	87	88
	10-50%	4		1		1		1	
Mischwald	>50%	26	28	27	31	25	26	25	27
	10-50%	2		4		1		2	
Nadelwald	>50%	15	17	18	18	21	21	20	21
	10-50%	2		0		0		1	
Wald gesamt		151		152		148		149	
Kein Wald		1		0		4		3	

Tab. K5-31: Anzahl und Verteilung der Landnutzung nach Waldform und Viertelkreissegment

Die Landnutzung Wald kann mittels der Angabe zur Waldform weiter differenziert werden. Die häufigste Waldform ist der Laubwald mit insgesamt 57,1% Anteil an allen Viertelkreissegmenten. Waldbedeckungsgrade mit mehr als 50% sind vorherrschend (geschlossene Walddecke). Es folgen der Mischwald mit 18,4%, der Nadelwald mit 12,7% und zuletzt der Quell-/Bruchwald mit 10,5% Anteil an der Gesamtzahl der Viertelkreissegmente. Die waldfreien Viertelkreissegmente bestehen zu gleichen Anteilen (jeweils 0,6%) aus Wiese und gehölzloser Blockakkumulation. Weitere Biotope innerhalb der Waldflächen mit einem Deckungsgrad von 10-50% (Anteil 8,7%) wurden festgestellt: Wiesen (3,1% Anteil), Kleine Stillgewässer (Tümpel/Teich; Anteil 0,3%), Blockakkumulation (0,3%) und Weide (ein Viertelkreissegment, 0,2%).

Baumart	Vorkommen in VKS	Anteil (%) VKS
Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> )	489	80,4%
Fichte ( <i>Picea</i> sp.)	207	34,0%
Schwarzerle ( <i>Alnus glutinosa</i> )	84	13,8%
Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> )	72	11,8%
Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> )	60	9,9%
Kiefer ( <i>Pinus</i> sp.)	54	8,9%
Eiche ( <i>Quercus</i> sp.)	41	6,7%
Birke ( <i>Betula</i> sp.)	31	5,1%
Lärche ( <i>Larix</i> sp.)	21	3,4%
Hainbuche ( <i>Carpinus betulus</i> )	12	2,0%
Eberesche ( <i>Sorbus aucuparia</i> )	10	1,6%
Espe ( <i>Populus tremula</i> )	6	1,0%
Weide ( <i>Salix</i> sp.)	4	0,6%
Kirsche ( <i>Prunus</i> sp.)	4	0,6%
Feldahorn ( <i>Acer campestre</i> )	4	0,6%
Roßkastanie ( <i>Aesculus hippocastanum</i> )	1	0,2%

Tab. K5-32: Dominierende Baumarten in den Viertelkreissegmenten (n=608) aller untersuchten Quellstandorte. VKS = Viertelkreissegment

Aus Tab. K5-32 geht hervor, dass die Rotbuche mit einem Anteil von 80,4% aller Viertelkreissegmente die häufigste vorkommende Baumart aller Quellstandorte ist. Mit 34% Anteil ist die Rotfichte (meist *Picea abies*) die zweithäufigste Baumart. Schwarzerle und Esche als Vertreter von Quell-/Bruchwäldern und Auenstandorten, folgen an dritter und vierter Position, zusammengenommen mit einem Anteil von 25,6% aller Viertelkreissegmente.

Die Waldform des Quellumfelds zeigt im Vergleich der Untersuchungsgebiete (Abb. K5-54), dass es regionale zum Teil deutliche Unterschiede gibt. Ist das Quellumfeld vor allem im Kellerwald (90%), Vogelsberg (83,3%) und Krofdorfer Forst (81,6%) vorherrschend von Laubwald bestimmt, so ist ein hoher Anteil an Nadelwald im Burgwald mit 53,3% besonders auffällig, der ansonsten einen untergeordneten Anteil hat, wobei im Hainich 18,2% des Quellumfelds Nadelwald ist. An Quellstandorten in der Rhön (22,2%), im Hainich (18,2%), im Burgwald (13,3%) und im Krofdorfer Forst (2,6%) konnten Quell-/Bruchwäldflächen festgestellt werden. Bis auf den Burgwald, mit 26,7% regionalem Anteil, kann der Mischwald als unterrepräsentiert charakterisiert werden.

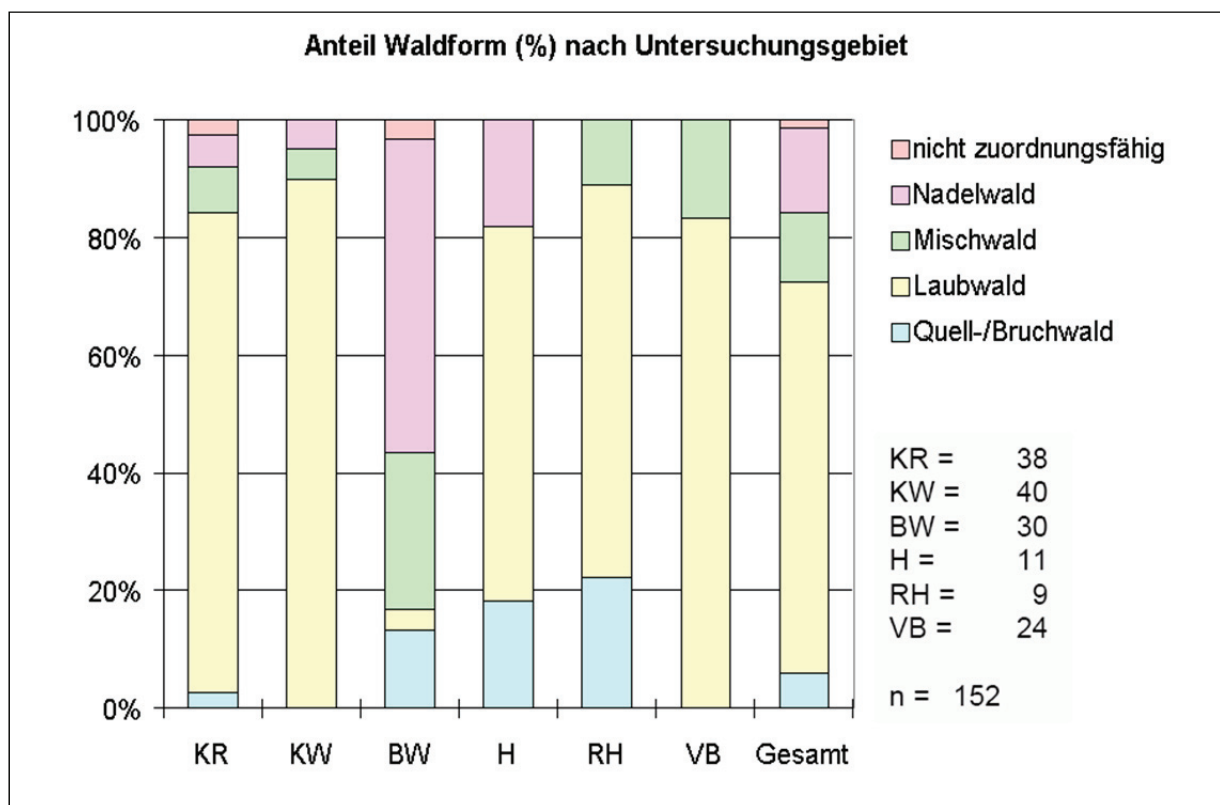


Abb. K5-54: Anteil der Waldform nach Untersuchungsgebiet. Abkürzungen: KW: Kellerwald (Große Hardt), KR: Krofdorfer Forst, BW: Burgwald (Nördlicher BW), H: Hainich, VB: Vogelsberg (Niddahänge), RH: Rhön (Schafstein). Eigene Darstellung

Rodungsflächen mit einem Deckungsgrad von 10 bis 50% eines Viertelkreissegments wurden insgesamt mit einem Anteil von 2,8% (17 Viertelkreissegmente) festgestellt. In einem untersuchten Viertelkreissegment wurde ein Deckungsgrad der Rodungsfläche mit >50% erfasst.

## 5.4 Substrat- und Habitattypenpräferenz der Fauna

### 5.4.1 Substratpräferenz und Indikatoreigenschaften

Zur Analyse der Substratpräferenz wurden nur natürliche Substrattypen (ohne Verbau; keine Mischproben) berücksichtigt. Bei der Aggregation der Substrattypen wurden Mischproben einbezogen (= unterschiedliche Anzahl an Einzelfunden), da diese dann zuzuordnen sind. Aufgrund der direkten Zuordnung einer Probe zu einem Substrattyp (inkl. Deckungsgrad) repräsentieren die Faunafunde unmittelbar den Fundort innerhalb eines bestimmten Substrattyps pro Quelle. Somit besteht ein direkter Bezug der Besiedlungsbefunde zur Beschaffenheit und Ausprägung potentieller Mikrohabitate innerhalb des Eukrenals. Das heißt, die dargestellten Stetigkeitsmuster in Tab. K5-33 repräsentieren die Besiedlung der gefundenen Gattungen und Arten in Bezug auf die Ergebnisse der in Kapitel 5.1.4 wiedergegebenen Substrattypen, deren Vorkommen und Deckungsgrade (flächenhafte Ausprägung an der Oberfläche). Dominante Substrattypen sind faunistisch entsprechend repräsentiert, wogegen weniger häufige und nicht vorherrschende Substrattypen faunistisch geringer vertreten sind. Die vorkommenden Substrattypen Algen und FPOM (Feindetritus) sind aufgrund nicht nachweisbarer Besiedlung (Gattung- und Artniveau) nicht aufgelistet.

Zur Klassifizierung wurde die Einteilung in Tab. K5-33 herangezogen, um die Substratpräferenzen zu analysieren und zu interpretieren.

Klasse	Frequenz	Farbcode	Indikatoreignung
$\geq 0.75$	sehr häufig		++
0.50 bis 0.74	häufig		
0.25 bis 0.49	verbreitet		+
$< 0.25$	selten		-

Tab. K5-33: Klassifizierung der Substratpräferenz nach OTTO & BRAUKMANN (1983)

Die in Tab. K5-34 dargestellte Übersicht zur Substratpräferenz zeigt die Verteilung der Taxa auf die unterschiedlichen Substrattypen anhand der Stetigkeit und der Stetigkeitsklassen (unterschiedliche Graustufen; Einteilung siehe Tab. K5-33). Insgesamt ist zu erkennen, dass organische Substrattypen deutlich präferiert werden (51 Präferenzen mit verbreiteter, häufiger und sehr häufiger Frequenz) gegenüber mineralischen Substrattypen (22 Präferenzen). Innerhalb der mineralischen Substrattypen dominiert das Feinmaterial (17 Präferenzen) deutlich gegenüber dem Grobmaterial (5 Präferenzen). Die vorherrschenden Substrattypen Psammopelal (Deckungsgrad 50,2% der ausgewerteten Quellen innerhalb der mineralischen Substrattypen) und das grobpartikuläre organische Material (CPOM; Deckungsgrad 36,5% der ausgewerteten Quellen innerhalb der organischen Substrattypen) werden besonders häufig besiedelt bzw. sind faunistisch deutlich repräsentiert. Der hinsichtlich des Vorkommens und der Deckungsgrade zweithäufigste mineralische Substrattyp Mikrolithal (Deckungsgrad 19,9%) ist gegenüber den organischen Substrattypen emerse Makrophyten (Deckungsgrad 19,7%), Xylal (Deckungsgrad 12,3%) und Moospolster (Deckungsgrad 10,2%) faunistisch auffällig unterrepräsentiert bzw. zeigt eine geringe Substratpräferenz der Taxa.



Taxon (Gattung, Art)	EF	Mineralische Substrattypen						Organische Substrattypen					
		Feinmaterial			Grobmaterial			eMphyt	sMphyt	Moosp	Xylal	CPOM	Nadels
		Argyllal	Psam	Pspelal	Akal	Mikrolith	Mesolith	Makrolith	Megalith				
<i>Agabus</i> sp.	9		0.11	0.22							0.22	0.33	0.11
<i>Anacaena</i> sp.	99			0.04	0.01	0.06	0.02	0.01		0.01	0.33	0.38	0.05
<i>Arrenurus fontinalis</i> *	6					0.16	0.16			0.16	0.16	0.33	
<i>Bezzia</i> sp.	20		0.05	0.85	0.10								
<i>Bythinella compressa</i>	69			0.35			0.13	0.07	0.04	0.03	0.22	0.14	
<i>Bythinella dunkeri</i>	122		0.02	0.19	0.05	0.09	0.07	0.02	0.01	0.01	0.20	0.31	
<i>Carychium</i> sp.	33		0.06	0.30			0.03		0.34	0.03	0.24	0.34	
<i>Carychium tridentatum</i>	14		0.07	0.36			0.07			0.07	0.14	0.29	
<i>Cicadella viridis</i>	4									1.00			
<i>Cordulegaster bidentatus</i>	4			0.25		0.50						0.25	
<i>Crenobia alpina</i>	65		0.03	0.20	0.03	0.15	0.06	0.06		0.01	0.18	0.26	
<i>Crunoecia irrorata</i>	104		0.04	0.17	0.05	0.07	0.06	0.05	0.02	0.02	0.21	0.32	
<i>Discus rotundatus</i>	13		0.08	0.15		0.08	0.08	0.08		0.08	0.31	0.15	
<i>Dixa</i> sp.	64			0.05		0.13	0.13	0.05		0.01	0.23	0.38	
<i>Eiseniella tetraedra</i>	35			0.03		0.11	0.06	0.03		0.03	0.46	0.29	
<i>Euconulus fulvus</i>	5						0.20				0.20	0.60	
<i>Euconulus</i> sp.	10			0.10			0.10	0.10			0.30	0.40	
<i>Galba truncatula</i>	26			0.19				0.08		0.08	0.19	0.42	
<i>Gammarus fossarum</i>	108	0.01	0.01	0.20	0.09	0.19	0.06	0.04	0.03	0.04	0.07	0.28	
<i>Gammarus pulex</i>	33		0.06	0.30		0.21	0.03		0.06		0.06	0.27	
<i>Habroplectides confusa</i>	5				0.20	0.20						0.60	
<i>Helophorus</i> sp.	4									0.50	0.25	0.25	
<i>Hydrovolzia placophora</i>	4			0.75		0.25							
<i>Hygrobatas norvegicus</i>	3			1.00						1.00			
<i>Ixodes</i> sp.	3												
<i>Leiburnum blackwalli</i>	4												
<i>Leuctra</i> sp.	52		0.04	0.37	0.04	0.13		0.04	0.06	0.75		0.25	
<i>Ligidium hypnorum</i>	14									0.07	0.02	0.31	
<i>Lithobius</i> sp.	5									0.40	0.14	0.14	
<i>Lobohalacarus weberi</i>	5			1.00							0.20	0.20	
<i>Monachoides incarnatus</i>	29					0.03		0.03		0.56	0.07	0.07	
<i>Nemoura</i> sp.	78			0.22	0.04	0.04	0.03	0.03		0.03	0.19	0.44	0.05
<i>Neobisium</i> sp.	5									0.40	0.40	0.20	
<i>Niphargus aquilex</i>	15			0.07	0.13		0.07				0.07	0.67	
<i>Niphargus schellenbergi</i>	27		0.04	0.15		0.15	0.07	0.04			0.07	0.44	
<i>Oligolophus tridens</i>	3									1.00			
<i>Oniscus asellus</i>	7						0.14				0.57	0.14	
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i>	3								0.33		0.67		
<i>Partunzia steinmanni</i>	5		0.20	0.40							0.20	0.20	
<i>Pedicia rivosa</i>	3									1.00			
<i>Pisidium</i> sp.	121	0.02	0.02	0.50	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02		0.08	0.28	
<i>Polycelis felina</i>	7			0.29					0.14			0.29	
<i>Polycelis</i> sp.	3										0.67	0.33	
<i>Protonemura</i> sp.	11				0.09	0.18		0.09		0.18	0.36	0.09	
<i>Protzia squamosa squamosa</i>	5			0.40							0.60		
<i>Sericostoma</i> sp.	109	0.01	0.02	0.18	0.09	0.27	0.06	0.04	0.01	0.02	0.10	0.22	
<i>Soldanellonix chappuisi</i>	5			1.00									
<i>Soldanellonix monardi</i>	4			1.00									
<i>Sperchon</i> sp.	6			0.83		0.17							
<i>Trichoniscus</i> sp.	64					0.03	0.06	0.05			0.25	0.34	0.27
<i>Velia</i> sp.	7					0.29	0.14	0.14		0.14		0.29	

Tab. K5-34: Übersicht zur Substratpräferenz der bestimmten Gattungen und Arten (alphabetisch) nach ihrer Stetigkeit (statistischen Treue innerhalb des Probenumfangs, in dem das Taxon befunden wurde). Abkürzungen bedeuten: Psam: Psammal; Pspelal: Psammopelal; Mikrolith: Mikrolithal; Mesolith: Mesolithal; Makrolith: Makrolithal; Megalith: Megalithal; eMphyt: emerse Makrophyten; sMphyt: submerse Makrophyten; Moosp: Moospolster; CPOM: grobpartikuläres organisches Material; Nadels: Nadelstreu

Innerhalb der Insekten wurde nicht darauf geachtet, ob eine Gattung oder eine Art als Imago oder als Larve gefunden wurde. Diese Unterscheidung ist in Tab. K5-35 dargestellt. Es wird vor allem deutlich, dass die Käfer (*Agabus* sp., *Anacaena* sp. und *Helophorus* sp.) überwiegend als Imagines und die Stein- (*Leuctra* sp., *Nemoura* sp. und *Protonemoura* sp.), Köcher- (*Crunoecia irrorata*, *Sericostoma* sp.) und Eintagsfliegen (*Habroleptoides confusa*) vorwiegend als Larven in den Substrattypen vorkommen.

<b>Taxon (Gattung, Art)</b>	<b>EF Imago absolut</b>	<b>Anteil Imago relativ</b>	<b>EF Larve absolut</b>	<b>Anteil Larve relativ</b>
<i>Agabus</i> sp.	9	100%	0	0%
<i>Anacaena</i> sp.	97	98%	2	2%
<i>Bezzia</i> sp.	0	0%	20	100%
<i>Cicadella viridis</i>	4	100%	0	0%
<i>Cordulegaster bidentatus</i>	0	0%	4	100%
<i>Crunoecia irrorata</i>	0	0%	104	100%
<i>Dixa</i> sp.	4	6%	60	94%
<i>Habroleptoides confusa</i>	0	0%	5	100%
<i>Helophorus</i> sp.	4	100%	0	0%
<i>Leuctra</i> sp.	0	0%	52	100%
<i>Nemoura</i> sp.	2	3%	76	97%
<i>Pedicia rivosa</i>	3	100%	0	0%
<i>Protonemura</i> sp.	0	0%	11	100%
<i>Sericostoma</i> sp.	2	2%	107	98%
<i>Velia</i> sp.	7	100%	0	0%

Tab. K5-35: Verteilung der Insekten-Gattungen und -Arten auf das Stadium Imago und Larve

Taxon (Gattung, Art)	Argyllal	Psam	Pspelal	Akal	Mikrolith	Mesolith	Makrolith	Megalith
<i>Hygrobatas norvegicus</i> (Süßwassermilben)			■					
<i>Lobohalacarus weberi</i> (Meeresmilben)			■					
<i>Soldanellonyx chappuisi</i> (Meeresmilben)			■					
<i>Soldanellonyx monadi</i> (Meeresmilben)			■					
<i>Bezzia</i> sp. (Gnitzen)		■	■	■				
<i>Sperchon</i> sp. (Süßwassermilben)			■		■			
<i>Hydrovolzia placophora</i> (Süßwassermilben)			■		■			
<i>Pisidium</i> sp. (Kugelmuscheln)	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Partnunia steinmanni</i> (Süßwassermilben)		■	■					
<i>Protzia squamosa squamosa</i> (Süßwassermilben)			■					
<i>Leuctra</i> sp. (Steinfliegen)		■	■	■	■		■	■
<i>Carychium tridentatum</i> (Küstenschnecken)		■	■			■		
<i>Bythinella compressa</i> (Zwergdeckelschnecken)			■		■	■	■	■
<i>Carychium</i> sp. (Küstenschnecken)		■	■			■		
<i>Gammarus pulex</i> (Bachflohkrebse)		■	■		■	■		■
<i>Polycelis felina</i> (Strudelwürmer)			■					■
<i>Cordulegaster bidentatus</i> (Quelljungfern, Libellen)			■		■			
<i>Velia</i> sp. (Bachläufer)					■		■	■
<i>Sericostoma</i> sp. (Köcherfliegen)	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i> (Weberknechte)								■
<i>Gammarus fossarum</i> (Bachflohkrebse)	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Crunoecia irrorata</i> (Köcherfliegen)		■	■	■	■	■	■	■
<i>Bythinella dunkeri</i> (Zwergdeckelschnecken)		■	■	■	■	■	■	■
<i>Habroleptoides confusa</i> (Eintagsfliegen)				■	■			
<i>Protonemura</i> sp. (Steinfliegen)				■	■		■	
<i>Arrenurus fontinalis</i> * (Süßwassermilben)					■	■		
<i>Crenobia alpina</i> (Strudelwürmer)		■	■	■	■	■	■	
<i>Niphargus schellenbergi</i> (Höhlenflohkrebs)		■	■		■	■	■	
<i>Dixa</i> sp. (Tastermücken)			■		■	■	■	
<i>Eiseniella tetraedra</i> (Uferregenwürmer)			■		■	■	■	
<i>Discus rotundatus</i> (Schüsselschnecken)		■	■		■	■	■	
<i>Anacaena</i> sp. (Wasserkäfer)			■	■	■	■	■	
<i>Nemoura</i> sp. (Steinfliegen)			■	■	■	■	■	
<i>Monachoides incarnatus</i> (Laubschnecken)					■		■	
<i>Trichoniscus</i> sp. (Asseln)					■	■	■	
<i>Agabus</i> sp. (Schwimmkäfer)		■	■					
<i>Galba truncatula</i> (Schlamm-schnecken)			■				■	
<i>Euconulus</i> sp. (Kegelchen, Landschnecken)			■			■	■	
<i>Niphargus aquilex</i> (Höhlenflohkrebs)			■	■		■		
<i>Euconulus fulvus</i> (Kegelchen, Landschnecken)						■		
<i>Oniscus asellus</i> (Asseln)						■		

## Legende

■	Stetigkeit ≥75%	sehr häufig
■	Stetigkeit 50 - 74%	häufig
■	Stetigkeit 25 - 49%	verbreitet
■	< Stetigkeit 25%	selten

Abb. K5-55: Vereinfachte Darstellung der Substratpräferenz (nach Stetigkeitswerten) der Arten und Gattungen für die mineralischen Substrattypen. \* Funde an *Dixa* sp. Eigene Darstellung

Taxon (Gattung, Art)	eMphyt	sMphyt	Moosp	Xylal	CPOM	Nadels
<i>Niphargus aquilex</i> (Höhlenflohkrebs)				■	■	
<i>Euconulus fulvus</i> (Kegelchen, Landschnecken)				■	■	
<i>Habroleptoides confusa</i> (Eintagsfliegen)					■	
<i>Protzia squamosa squamosa</i> (Süßwassermilben)					■	
<i>Nemoura</i> sp. (Steinfliegen)				■	■	■
<i>Niphargus schellenbergi</i> (Höhlenflohkrebs)				■	■	
<i>Galba truncatula</i> (Schlamm-schnecken)	■		■	■	■	
<i>Polydesmus</i> sp. (Bandfüßer)				■	■	
<i>Euconulus</i> sp. (Kegelchen, Landschnecken)				■	■	
<i>Anacaena</i> sp. (Wasserkäfer)	■		■	■	■	■
<i>Eiseniella tetraedra</i> (Uferregenwürmer)			■	■	■	
<i>Helophorus</i> sp. (Wasserkäfer)			■	■	■	
<i>Trichoniscus</i> sp. (Asseln)			■	■	■	
<i>Dixa</i> sp. (Tastermücken)	■		■	■	■	
<i>Carychium</i> sp. (Küstenschnecken)			■	■	■	
<i>Agabus</i> sp. (Schwimmkäfer)				■	■	■
<i>Arrenurus fontinalis</i> * (Süßwassermilben)	■			■	■	
<i>Crunoecia irrorata</i> (Köcherfliegen)			■	■	■	
<i>Bythinella dunkeri</i> (Zwergdeckelschnecken)		■	■	■	■	
<i>Leuctra</i> sp. (Steinfliegen)				■	■	
<i>Carychium tridentatum</i> (Küstenschnecken)			■	■	■	
<i>Polycelis felina</i> (Strudelwürmer)		■			■	
<i>Velia</i> sp. (Bachläufer)			■		■	
<i>Gammarus fossarum</i> (Bachflohkrebs)			■	■	■	
<i>Pisidium</i> sp. (Kugelmuscheln)			■	■	■	
<i>Gammarus pulex</i> (Bachflohkrebs)				■	■	
<i>Crenobia alpina</i> (Strudelwürmer)			■	■	■	
<i>Cordulegaster bidentatus</i> (Quelljungfern, Libellen)					■	
<i>Neobisium</i> sp. (Pseudoskorpione)			■	■	■	
<i>Paranema steinmanni</i> (Süßwassermilben)				■	■	
<i>Discus rotundatus</i> (Schüsselschnecken)	■			■	■	
<i>Bythinella compressa</i> (Zwergdeckelschnecken)			■	■	■	
<i>Ligidium hypnorum</i> (Sumpfasseln)	■		■	■	■	
<i>Oniscus asellus</i> (Asseln)			■	■	■	
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i> (Weberknechte)				■		
<i>Protonemura</i> sp. (Steinfliege)	■			■	■	
<i>Leiobunum blackwalli</i> (Weberknechte)	■				■	
<i>Cicadella viridis</i> (Kleinzikaden)	■					
<i>Oligolophus tridens</i> (Weberknechte)	■					
<i>Pedicia riposa</i> (Stelzmücken)	■					
<i>Monachoides incarnatus</i> (Laubschnecken)	■		■	■	■	
<i>Lithobius</i> sp. (Steinläufer)	■		■	■	■	
<i>Ixodes</i> sp. (Zecken)			■			
<i>Sericostoma</i> sp. (Köcherfliege)			■	■	■	

Legende

■	Stetigkeit ≥75%	sehr häufig
■	Stetigkeit 50 - 74%	häufig
■	Stetigkeit 25 - 49%	verbreitet
■	< Stetigkeit 25%	selten

Abb. K5-56: Vereinfachte Darstellung der Substratpräferenz (nach Stetigkeitswerten) der Arten und Gattungen für die organischen Substrattypen. Eigene Darstellung

<b>Indikatoreignung ++</b>	<b>Taxon/Taxa</b>
Psammopelal	<i>Bezzia</i> , sp., <i>Hydrovolzia placophora</i> , <i>Hygrobates norvegicus</i> , <i>Lobohalacarus weberi</i> , <i>Pisidium</i> sp., <i>Soldanellonyx chappuisi</i> , <i>Soldanellonyx monardi</i>
Mikrolithal	<i>Cordulegaster bidentatus</i>
Emerse Makrophyten	<i>Cicadella viridis</i> , <i>Leiobunum blackwalli</i> , <i>Monachoides incarnatus</i> , <i>Oligolophus tridens</i> , <i>Pedicia rivosa</i>
Moospolster	<i>Helephorus</i> sp., <i>Ixodes</i> sp., <i>Ligidium hypnorum</i>
Xylal	<i>Oniscus asellus</i> , <i>Paranemastoma quadripunctatum</i>
CPOM	<i>Euconulus fulvus</i> , <i>Habroleptoides confusa</i> , <i>Niphargus aquilex</i> , <i>Protzia squamosa squamosa</i>
<b>Indikatoreignung +</b>	<b>Taxon/Taxa</b>
Psammopelal	<i>Bythinella compressa</i> , <i>Carychium</i> sp., <i>Carychium tridentatum</i> , <i>Cordulegaster bidentatus</i> , <i>Gammarus pulex</i> , <i>Leuctra</i> sp., <i>Partunia steinmanni</i> , <i>Polycelis felina</i> , <i>Protzia squamosa squamosa</i>
Mikrolithal	<i>Hydrovolzia placophora</i> , <i>Sericostoma</i> sp., <i>Velia</i> sp.
Megalithal	<i>Paranemastoma quadripunctatum</i>
Emerse Makrophyten	<i>Lithobius</i> sp.
Moospolster	<i>Neobisium</i> sp.
Xylal	<i>Anacaena</i> sp., <i>Discus rotundatus</i> , <i>Eiseniella tetraeder</i> , <i>Euconulus</i> sp., <i>Helephorus</i> sp., <i>Neobisium</i> sp., <i>Protonemura</i> sp., <i>Trichoniscus</i> sp.
CPOM	<i>Agabus</i> sp., <i>Anacaeana</i> sp., <i>Arrenurus fontanilis</i> , <i>Bythinella dunkeri</i> , <i>Carychium</i> sp., <i>Carychium tridentatum</i> , <i>Cordulegaster bidentatus</i> , <i>Crenobia alpina</i> , <i>Dixa</i> sp., <i>Eiseniella tetraeder</i> , <i>Euconulus</i> sp., <i>Galba truncatula</i> , <i>Gammarus fossarum</i> , <i>Gammarus pulex</i> , <i>Helephorus</i> sp., <i>Leiobunum blackwalli</i> , <i>Leuctra</i> sp., <i>Nemoura</i> sp., <i>Niphargus schellenbergi</i> , <i>Pisidium</i> sp., <i>Polycelis felina</i> , <i>Polydesmus</i> sp., <i>Trichoniscus</i> sp., <i>Velia</i> sp.

Tab. K5-36: Indikatoreignung der Taxa zur Repräsentanz der Substratpräferenz

Die Eignung eines Taxon als Indikator einer bestimmten Substratpräferenz ist in Tab. K5-36 dargestellt, wobei zunächst nur eine Sortierung nach der Stetigkeit in Klassen (Tab. K5-33) erfolgt und die Häufigkeit des Vorkommens der Art nicht berücksichtigt wird. Die Indikatoreignung wird in Kap.6.1.2 diskutiert, wobei eine abschließende Übersicht in Tabellen erfolgt.

Eine Zuordnung der Gattungen und Arten nach aggregierten Klassen der Substrattypen ist in Tab. K5-37 dargestellt. Hierbei wird die Bedeutung der organischen Substrattypen besonders deutlich, da die Taxa zahlreich sind und der Anteil hoher Stetigkeitswerte häufig ist.



Substratpräferenz organische Substrattypen			
Taxon (Gattung, Art)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
<i>Cicadella viridis</i>			1.00
<i>Helophorus</i> sp.			1.00
<i>Ixodes</i> sp.			1.00
<i>Leiobunum blackwalli</i>			1.00
<i>Ligidium hypnorum</i>			1.00
<i>Lithobius</i> sp.			1.00
<i>Neobisium</i> sp.			1.00
<i>Oligolophus tridens</i>			1.00
<i>Pedicia rivosa</i>			1.00
<i>Polydesmus</i> sp.			1.00
<i>Monachoides incarnatus</i>	0.07		0.93
<i>Anacaena</i> sp.	0.04	0.10	0.86
<i>Trichoniscus</i> sp.		0.14	0.86
<i>Oniscus asellus</i>		0.17	0.83
<i>Euconulus fulvus</i>		0.20	0.80
<i>Eiseniella tetraedra</i>	0.03	0.20	0.77
<i>Niphargus aquilex</i>	0.06	0.20	0.74
<i>Galba truncatula</i>	0.19	0.08	0.73
<i>Agabus</i> sp.	0.30		0.70
<i>Euconulus</i> sp.	0.10	0.20	0.70
<i>Carychium</i> sp.	0.32		0.68
<i>Arrenurus fontinalis</i> (an <i>Dixa</i> sp.)		0.33	0.67
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i>		0.33	0.67
<i>Dixa</i> sp.	0.05	0.30	0.65
<i>Nemoura</i> sp.	0.22	0.13	0.65
<i>Protonemura</i> sp.		0.36	0.64
<i>Habroleptoides confusa</i>		0.40	0.60
<i>Prozia squamosa</i>	0.40		0.60
<i>Polycelis felina</i>	0.29	0.14	0.57
<i>Crunoecia irrorata</i>	0.21	0.24	0.55
<i>Bythinella dunkeri</i>	0.21	0.25	0.54
<i>Discus rotundatus</i>	0.23	0.23	0.54
<i>Niphargus schellenbergi</i>	0.19	0.29	0.52
Substratpräferenz feinkörnige mineralische Substrattypen			
Taxon (Gattung, Art)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
<i>Hygrobatas norvegicus</i>	1.00		
<i>Lobohalacarus weberi</i>	1.00		
<i>Soldanellonyx chappuisi</i>	1.00		
<i>Soldanellonyx monardi</i>	1.00		
<i>Bezzia</i> sp.	0.90	0.10	
<i>Sperchon</i> sp.	0.83	0.17	
<i>Hydrovolzia placophora</i>	0.75	0.25	
<i>Pisidium</i> sp.	0.54	0.08	0.38
Substratpräferenz grobkörnige mineralische Substrattypen			
Taxon (Gattung, Art)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
<i>Velia</i> sp.		0.57	0.43
<i>Cordulegaster bidentatus</i>	0.25	0.50	0.25
<i>Sericostoma</i> sp.	0.21	0.45	0.34
Keine Zuordnung			
Taxon (Gattung, Art)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
<i>Carychium tridentatum</i>	0.43	0.07	0.50
<i>Partuninia steinmanni</i>	0.50		0.50
<i>Gammarus fossarum</i>	0.22	0.38	0.39
<i>Crenobia alpina</i>	0.23	0.31	0.46
<i>Gammarus pulex</i>	0.36	0.30	0.34
<i>Leuctra</i> sp.	0.40	0.27	0.33
<i>Bythinella compressa</i>	0.35	0.26	0.39

Tab. K5-37: Substratpräferenz der Arten und Gattungen nach aggregierten Klassen.

Die Ergebnisse der Substratpräferenz unter Berücksichtigung der taxonomischen Rangordnungen Familie und Ordnung sowie entsprechende Zwischenstufen ist in Tab. K5-38 auf den nachfolgenden 4 Seiten dargestellt.

Taxon				Mineralische Substrattypen								Organische Substrattypen							
				Feinmaterial			Grobmaterial												
Klasse	Ordnung	Familie	EF	Argyllal	Psam	Pspelal	Akal	Mikrolith	Mesolith	Makrolith	Megalith	eMphyt	sMphyt	Moosp	Xylal	CPOM	Nadels	Algen	
Turbellaria	Seriata		77		0.02	0.22	0.04	0.13	0.05	0.05	0.03		0.01	0.01	0.17	0.26	0.01		
		Planariidae	72		0.03	0.21	0.03	0.14	0.05	0.05	0.03		0.01	0.01	0.18	0.26			
Nematomorpha	Gordiida		22			0.04	0.18	0.14	0.09		0.04					0.50			
Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	121	0.02	0.02	0.50	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01			0.02	0.08	0.28			
Gastropoda	Neotaenioglossa	Hydrobiidae	191	0.01		0.25	0.03	0.12	0.07	0.03	0.01		0.01	0.03	0.20	0.25			
	Basommatophora		61		0.05	0.26			0.02	0.03		0.02		0.05	0.21	0.36			
		Ellobiidae	33		0.06	0.30			0.03					0.03	0.24	0.33			
		Lymnaeidae	26			0.19				0.08		0.04		0.08	0.19	0.42			
	Stylommatophora		147		0.03	0.07		0.04	0.04	0.04	0.01	0.26		0.07	0.16	0.26	0.01		
		Succineidae	12		0.08	0.08			0.08			0.58					0.17		
		Cochlicopidae	5		0.20					0.20		0.20				0.20	0.20		
		Clausiliidae	5						0.20		0.20				0.20	0.20	0.20		
		Euconulidae	10			0.10			0.10	0.10						0.30	0.40		
		Patulidae	13		0.08	0.15		0.08	0.08	0.08		0.08				0.31	0.15		
		Hygromiidae	31			0.03		0.03		0.07		0.71		0.03	0.07	0.07			
		Zonitidae	32			0.03		0.06	0.03		0.03	0.06		0.25	0.19	0.34			
		Limacidae	9					0.11			0.11	0.33			0.11	0.33			
		Arionidae	7												0.14	0.14	0.72		
Clitellata	Oligochaeta		164	0.01	0.02	0.35	0.02	0.07	0.02	0.01		0.07			0.23	0.20			
		Lumbricidae	48			0.02		0.10	0.04	0.02				0.10	0.44	0.27			
Arachnida	Pseudoscorpiones		9											0.44	0.22	0.33			
		Neobisiidae	5											0.40	0.40	0.20			
	Araneae		251			0.01	0.01	0.05	0.04	0.05	0.01	0.28		0.15	0.20	0.21			
		Linyphiidae	107					0.08	0.07	0.10	0.01	0.11		0.14	0.23	0.25			
		Tetragnathidae	5									0.40	0.20		0.40				
		Lycosidae	11					0.09				0.18		0.18	0.27	0.27			
		Thomisidae	4					0.25				0.50				0.25			
	Opiliones		32							0.03	0.03	0.66		0.06	0.16	0.03	0.03		
	Nemastomatidae	6								0.17	0.33			0.50					

Taxon				Mineralische Substrattypen								Organische Substrattypen							
				Feinmaterial			Grobmaterial												
Klasse	Ordnung	Familie	EF	Argyllal	Psam	Pspelal	Akal	Mikrolith	Mesolith	Makrolith	Megalith	eMphyt	sMphyt	Moosp	Xylal	CPOM	Nadels	Algen	
Arachnida (Forts.)	Opiliones (Forts.)	Phalangiidae	20							0.05		0.80		0.10	0.05				
		Sclerosomatidae	6									0.50			0.17	0.17	0.17		
	Acari		220	0.01	0.01	0.35		0.04	0.02	0.01		0.05		0.14	0.21	0.15	0.01		
		Hydrachnellae	30		0.03	0.60		0.07	0.03						0.03	0.06	0.17		
		Halacaridae	15			1.00													
		Hydrovolziidae	4			0.75		0.25											
		Ixodidae	10									0.30		0.20	0.30	0.20			
		Phthiracaridae	17			0.70								0.06	0.18	0.06			
		Oribatida (U-Ord)	38	0.03	0.03	0.39		0.03		0.03		0.05		0.16	0.18	0.08	0.03		
Crustacea	Harpacticoida		70	0.01	0.01	0.85	0.01	0.03	0.01						0.06	0.01			
	Cyclopoida		76	0.01	0.01	0.89	0.03	0.01							0.01	0.03			
	Amphipoda		213	0.01	0.02	0.21	0.05	0.17	0.05	0.04	0.02			0.02	0.08	0.34			
		Gammaridae	153	0.01	0.03	0.22	0.06	0.19	0.04	0.04	0.02			0.03	0.09	0.27			
		Niphargidae	60		0.02	0.18	0.03	0.10	0.05	0.03	0.02				0.07	0.50	0.01		
	Isopoda		93					0.03	0.06	0.03	0.01	0.01		0.29	0.34	0.22			
		Ligiidae	14									0.07		0.64	0.14	0.14			
		Oniscidae	7						0.14					0.14	0.57	0.14			
		Trichoniscidae	67					0.03	0.06	0.04				0.25	0.34	0.27			
Chilopoda	Lithobiomorpha		5									0.40		0.20	0.20	0.20			
	Diplopoda		17					0.06						0.23	0.53	0.18			
		Julidae	4					0.25						0.50	0.25				
		Polydesmidae	3												0.67	0.33			
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	5				0.20	0.20								0.60			
	Odonata	Cordulegasteridae	4			0.25		0.50								0.25			
	Plecoptera		199		0.01	0.28	0.04	0.07	0.01	0.03	0.02	0.07		0.01	0.13	0.30	0.02		
		Nemouridae	89			0.20	0.04	0.08	0.02	0.03		0.02			0.21	0.38	0.03		
		Leuctridae	54		0.04	0.37	0.04	0.13		0.04	0.05				0.02	0.30	0.02		
	Psocoptera		4							0.50		0.25					0.25		
Thysanoptera		4			0.75									0.25					

Taxon				Mineralische Substrattypen								Organische Substrattypen							
				Feinmaterial			Grobmaterial												
Klasse	Ordnung	Familie	EF	Argyllal	Psam	Pspelal	Akal	Mikrolith	Mesolith	Makrolith	Megalith	eMphyt	sMphyt	Moosp	Xylal	CPOM	Nadels	Algen	
Chilopoda (Forts.)	Hemiptera		81			0.02		0.05	0.01	0.01	0.01	0.67		0.05	0.05	0.12			
		Auchenorrhyncha	16			0.06						0.75					0.19		
		Cicadellidae	5									1.00							
		Veliidae	11					0.27			0.09	0.09			0.09	0.09	0.37		
		Aphidoidea (Ü-Fam)	16			0.06		0.06				0.62			0.06	0.06	0.13		
	Neuroptera		4				0.25					0.75							
	Coleoptera		509		0.01	0.07	0.02	0.09	0.04	0.03	0.01	0.06		0.10	0.22	0.33	0.02	0.01	
		Dytiscidae	35		0.03	0.14		0.06							0.03	0.11	0.57	0.06	
		Carabidae	5						0.20							0.40	0.40		
		Hydrophilidae	113			0.03	0.02	0.05	0.02	0.01		0.01		0.10	0.31	0.40	0.06		
		Hydraenidae	23			0.13		0.13							0.13	0.61			
		Staphylinidae	142		0.01	0.01	0.02	0.05	0.06	0.06	0.01	0.06		0.18	0.24	0.27	0.02		
		Scirtidae	98		0.01	0.13	0.05	0.18	0.04	0.03				0.01	0.19	0.35			
		Elmidae	5			0.20		0.40							0.40				
		Elateridae	4									0.75			0.25				
		Curculionidae	5										0.20		0.20		0.20	0.20	0.20
		Hymenoptera		25			0.04			0.08	0.04		0.12			0.28	0.44		
		Apocrita (U-Ord)	16			0.06			0.06	0.06		0.06				0.19	0.56		
		Formicidae	8						0.12			0.12				0.50	0.25		
	Trichoptera		364	0.01	0.02	0.21	0.04	0.16	0.04	0.05	0.02	0.03	0.01	0.02	0.15	0.25			
		Polycentropodidae	8			0.12		0.25									0.62		
		Lepidostomatidae	104		0.04	0.17	0.05	0.07	0.06	0.05	0.02			0.02	0.21	0.32			
		Sericostomatidae	109	0.01	0.02	0.18	0.08	0.27	0.06	0.04	0.01			0.02	0.10	0.22			
		Beraeidae	39			0.10		0.05	0.08	0.15	0.05			0.02	0.23	0.31			
	Lepidoptera		15			0.13		0.07		0.07		0.07			0.33	0.33			
	Diptera		807	0.01	0.01	0.17	0.02	0.07	0.04	0.03	0.01	0.20		0.05	0.17	0.22	0.01		
		Cecidomyiidae	5					0.20				0.40			0.20	0.20			
		Ceratopogonidae	31		0.03	0.58	0.06					0.13		0.13	0.03	0.03			
		Chironomidae	159	0.02	0.01	0.53	0.01	0.02	0.02	0.01		0.02		0.04	0.09	0.21	0.03		

Taxon				Mineralische Substrattypen								Organische Substrattypen						
				Feinmaterial			Grobmaterial											
Klasse	Ordnung	Familie	EF	Argyllal	Psam	Pspelal	Akal	Mikrolith	Mesolith	Makrolith	Megalith	eMphyt	sMphyt	Moosp	Xylal	CPOM	Nadels	Algen
Chilopoda (Forts.)	Diptera (Forts.)	Culicidae	9					0.11		0.11		0.44		0.11	0.11	0.11		
		Dixidae	64			0.05		0.13	0.13	0.05		0.05		0.01	0.22	0.37		
		Limoniidae	121		0.01	0.02	0.01	0.11	0.04	0.02	0.01	0.15		0.03	0.22	0.35	0.02	
		Psychodidae	40			0.10		0.02	0.07	0.05		0.10		0.02	0.25	0.37		
		Sciaridae	6			0.17					0.17	0.17			0.17	0.33		
		Simuliidae	8			0.12	0.12	0.12				0.12				0.50		
		Thaumaleidae	74			0.01	0.05	0.28	0.17	0.11				0.04	0.23	0.12		
		Tipulidae	37			0.03		0.03	0.03	0.03		0.03		0.19	0.18	0.48		
		Dolichopodidae	18									0.83		0.06	0.06	0.06		
		Empididae	10							0.10		0.70			0.20			
		Lauxaniidae	20									1.00						
		Lonchopteridae	19									0.84		0.05	0.05	0.05		
		Sphaeroceridae	8					0.25			0.12	0.50		0.12				
		Syrphidae	10			0.20							0.60			0.10	0.10	
Collembola (U-KI)			247			0.04	0.02	0.07	0.04	0.04	0.02	0.04		0.19	0.25	0.27	0.02	0.01

Tab. K5-38: Übersicht zur Substratpräferenz nach Klasse, Ordnung und Familie



Substratpräferenz Organische Substrate			
Taxon (Familie)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
Sclerosomatidae (Weberknechte)			1.00
Dolichopodidae (Langbeinfliegen)			1.00
Arionidae (Wegschnecken)			1.00
Neobisiidae (Pseudoskorpione)			1.00
Tetragnathidae (Dickkieferspinnen)			1.00
Ixodidae (Zecken)			1.00
Polydesmidae (Tausendfüßer)			1.00
Cicadellidae (Zwergzikaden)			1.00
Elateridae (Schnellkäfer)			1.00
Curculionidae (Rüsselkäfer)			1.00
Lauxaniidae (Faulfliegen)			1.00
Ligiidae (Asseln)			1.00
Lonchopidae (Lanzentfliegen)			1.00
Phalangidae (Weberknechte)		0.05	0.95
Auchenorrhyncha (Zikaden, paraphyletische Gruppe)	0.06		0.94
Lycosidae (Wolfskorpione)		0.10	0.90
Empididae (Tanzfliegen)		0.10	0.90
Tipulidae (Schnaken)	0.03	0.09	0.88
Hygromiidae (Laubschnecken)	0.03	0.10	0.88
Hydrophilidae (Wasserkäfer)	0.03	0.10	0.88
Aphidoidea (U-Fam) (Blattläuse)	0.06	0.06	0.88
Formicidae (Ameisen)		0.12	0.88
Trichoniscidae (Asseln)		0.13	0.87
Oniscidae (Asseln)		0.14	0.86
Zonitidae (Glanzschncken)	0.03	0.12	0.85
Nemastomatidae (Weberknechte)		0.17	0.83
Lumbricidae (Regenwürmer)	0.02	0.16	0.82
Apocrita (U-Ord) (Taillenwespen)	0.06	0.12	0.82
Carabidae (Laufkäfer)		0.20	0.80
Cecidomyiidae (Gallmücken)		0.20	0.80
Syrphidae (Schwebfliegen)	0.20		0.80
Limacidae (Egelschnecken)		0.22	0.78
Staphylinidae (Kurzflügelkäfer)	0.02	0.20	0.78
Culicidae (Stechmücken)		0.22	0.78
Limoniidae (Stelzmücken)	0.03	0.19	0.78
Dytiscidae (Schwimmkäfer)	0.17	0.06	0.77
Succineidae (Bernsteinschnecken)	0.16	0.08	0.76
Thomisidae (Krabbspinnen)		0.25	0.75
Julidae (Schnurfüßer)		0.25	0.75
Psychodidae (Schmetterlingsmücken)	0.10	0.15	0.75
Hydraenidae (Langsterwasserkäfer)	0.13	0.13	0.74
Linyphiidae (Baldachinspinnen)		0.26	0.74
Lymnaeidae (Schlamm-schnecken)	0.19	0.08	0.73
Euconulidae (Kegelchen, Landschnecken)	0.10	0.20	0.70
Sciaridae (Trauermücken)	0.17	0.17	0.66
Dixidae (Tastmücken)	0.05	0.30	0.65
Nemouridae (Steinfliegen)	0.20	0.17	0.63
Polycentropodidae (Netzköcherfliegen)	0.12	0.25	0.63
Sphaeroceridae (Dungfliegen)		0.37	0.63
Simuliidae (Kriebelmücken)	0.12	0.25	0.63
Ellobiidae (Küstenschnecken)	0.36	0.03	0.61
Cochlicopidae (Glattschnecken)	0.20	0.20	0.60
Clausiliidae (Schließmundschnecken)		0.40	0.60
Leptophlebiidae (Eintagsfliegen)		0.40	0.60
Niphargidae (Höhlenflohkrebs)	0.20	0.23	0.59
Beraeidae (Köcherfliegen)	0.10	0.33	0.57
Scirtidae (Sumpfkäfer)	0.14	0.30	0.56
Lepidostomatidae (Köcherfliegen)	0.20	0.25	0.55
Patulidae (Schüsselschnecken)	0.23	0.23	0.54
Hydrobiidae (Zwergdeckelschnecken)	0.26	0.26	0.48
Planariidae (Strudelwürmer)	0.24	0.30	0.46
Substratpräferenz Feinmaterial (Mineralische Substrate)			
Taxon (Familie)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
Halacandae (Meeresmilben)	1.00		
Hydrozoidea (Süßwassermilben)	0.75	0.25	
Phthiracaridae (Hornmilben)	0.70		0.30
Hydrachnellae (Süßwassermilben)	0.64	0.10	0.26
Ceratopogonidae (Gnitzen)	0.62	0.06	0.32
Chironomidae (Zuckmücken)	0.56	0.06	0.38
Sphaeriidae (Kugelmuscheln)	0.54	0.09	0.37
Substratpräferenz Grobmaterial (Mineralische Substrate)			
Taxon (Familie)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
Thaumaleidae (Dunkelmücken)	0.01	0.60	0.39
Cordulegasteridae (Quelljungfer)	0.25	0.50	0.25
Senecostomatidae (Köcherfliegen)	0.20	0.46	0.34
Keine Zuordnung			
Taxon (Familie)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
Velidae (Bachläufer)		0.45	0.55
Oribatida (U-Ord) (Hornmilben)	0.44	0.06	0.50
Elmidae (Klauenkäfer)	0.20	0.40	0.40
Gammaridae (Bachflohkrebs)	0.26	0.35	0.39
Leuctridae (Steinfliegen)	0.40	0.26	0.34

Tab. K5-39: Substratpräferenz der Familien nach aggregierten Klassen

Substratpräferenz Organische Substrate			
Taxon (Ordnung)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
<i>Pseudoscorpiones</i>			1.00
<i>Lithobiomorpha</i>			1.00
<i>Opiliones</i>		0.06	0.94
<i>Diplopoda</i>		0.06	0.94
<i>Hemiptera</i>	0.02	0.08	0.90
<i>Isopoda</i>		0.13	0.87
<i>Hymenoptera</i>	0.04	0.12	0.84
<i>Araneae</i>	0.01	0.16	0.83
<i>Stylommatophora</i>	0.10	0.13	0.77
<i>Collembola</i> (U-Klasse)	0.04	0.19	0.77
<i>Neuroptera</i>		0.25	0.75
<i>Coleoptera</i>	0.08	0.19	0.73
<i>Lepidoptera</i>	0.13	0.14	0.73
<i>Diptera</i>	0.19	0.16	0.65
<i>Basommatophora</i>	0.31	0.05	0.64
<i>Ephemeroptera</i>		0.40	0.60
<i>Acari</i>	0.37	0.07	0.56
<i>Plecoptera</i>	0.29	0.17	0.54
<i>Oligochaeta</i>	0.38	0.12	0.50
<i>Neotaenioglossa</i>	0.26	0.26	0.48
<i>Seriata</i>	0.24	0.30	0.46
<i>Trichoptera</i>	0.24	0.30	0.46
<i>Amphipoda</i>	0.23	0.33	0.44
Substratpräferenz Feinmaterial (Mineralische Substrate)			
Taxon (Ordnung)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
<i>Cyclopoida</i>	0.92	0.04	0.04
<i>Harpacticoida</i>	0.88	0.05	0.07
<i>Thysanoptera</i>	0.75		0.25
<i>Veneroida</i>	0.54	0.09	0.37
Substratpräferenz Grobmaterial (Mineralische Substrate)			
Taxon (Ordnung)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
<i>Odonata</i>	0.25	0.50	0.25
Keine Zuordnung			
Taxon (Ordnung)	Feinmaterial	Grobmaterial	Organisch
<i>Gordiida</i>	0.05	0.45	0.50
<i>Psocoptera</i>		0.50	0.50

Tab. K5-40: Substratpräferenz der Ordnungen nach aggregierten Habitattypen

Die Tabelle K5-39 und K5-40 zeigen die Familien und die Ordnungen eingeteilt in die aggregierten Klassen der Substrattypen. In beiden Übersichten wird wiederum die Bedeutung organischer Substrattypen deutlich. Auf der Rangstufe der Ordnungen wird ersichtlich, dass fast ausschließlich organische Substrattypen präferiert werden. Lediglich die Kleinkrebse der *Cyclopoida* und *Harpacticoida* sowie die *Thysanoptera* und *Veneroida* sind in feinkörnigen mineralischen Substrattypen häufiger zu finden.

### 5.4.2 Habitattypenpräferenz der Fauna

Entsprechend der Analyse zur Substratpräferenz wurden die Daten der Gattungen und Arten aus dem Datensatz den Habitattypen (Kap. 5.1.5) zugeordnet und die Stetigkeit (statistische Häufigkeit des Taxon innerhalb eines Habitattyps bezogen auf deren Einzelfundanzahl) berechnet.

Taxon (Gattung, Art)	EF	O			M			O/M	
		Of	Og	Ofg	Mf	Mg	Mfg	OMf	OMg
<i>Agabus</i> sp.	9	0.56	0.11		0.22			0.11	
<i>Anacaena</i> sp.	97	0.43	0.29	0.08	0.06	0.04		0.03	0.06
<i>Arrenurus fontinalis</i> *	4	0.25		0.50		0.25			
<i>Bezzia</i> sp.	18	0.55	0.22			0.11	0.06	0.06	
<i>Bythinella compressa</i>	69	0.20	0.46	0.13		0.10	0.07		0.03
<i>Bythinella dunkeri</i>	120	0.20	0.50	0.12	0.03	0.07		0.01	0.07
<i>Carychium</i> sp.	30	0.40	0.30	0.13	0.03		0.07	0.07	
<i>Carychium tridentatum</i>	14	0.36	0.14	0.21			0.14	0.14	
<i>Cicadella viridis</i>	4	0.25	0.25					0.25	0.25
<i>Cordulegaster bidentatus</i>	4	0.25	0.25	0.25	0.25				
<i>Crenobia alpina</i>	65	0.14	0.49	0.18		0.12	0.02	0.02	0.02
<i>Crunoecia irrorata</i>	103	0.24	0.39	0.16	0.07	0.06	0.01	0.01	0.06
<i>Discus rotundatus</i>	12	0.17	0.58	0.08			0.08		0.08
<i>Dixa</i> sp.	63	0.35	0.30	0.10	0.06	0.05	0.08		0.06
<i>Eiseniella tetraedra</i>	35	0.54	0.26	0.03		0.08		0.03	0.06
<i>Euconulus fulvus</i>	5	0.20	0.20	0.60					
<i>Euconulus</i> sp.	10	0.30	0.30	0.40					
<i>Galba truncatula</i>	26	0.62		0.08	0.19	0.08	0.04		
<i>Gammarus fossarum</i>	109	0.18	0.39	0.19	0.06	0.04	0.06	0.07	
<i>Gammarus pulex</i>	33	0.30	0.30	0.18		0.18	0.03		
<i>Habroleptoides confusa</i>	5	0.20	0.40	0.40					
<i>Helophorus</i> sp.	4	0.50	0.50						
<i>Hydrovolzia placophora</i>	4		0.50	0.25			0.25		
<i>Hygrobates norvegicus</i>	3	0.67	0.33						
<i>Ixodes</i> sp.	3	0.33		0.33	0.33				
<i>Leiobunum blackwalli</i>	4	1.00							
<i>Leuctra</i> sp.	52	0.37	0.27	0.15		0.13			0.08
<i>Ligidium hypnorum</i>	14	0.57	0.21		0.07	0.07			0.07
<i>Lithobius</i> sp.	5	0.40	0.20					0.20	0.20
<i>Lobohalacarus weberi</i>	4	0.80						0.20	
<i>Monachoides incarnatus</i>	29	0.31	0.38	0.17		0.10		0.03	
<i>Nemoura</i> sp.	77	0.55	0.21	0.06	0.08			0.04	0.06
<i>Neobisium</i> sp.	4	0.25	0.50						0.25
<i>Niphargus aquilex</i>	15	0.33	0.40	0.07				0.07	0.13
<i>Niphargus schellenbergi</i>	28	0.27	0.50	0.07					0.14
<i>Oligolophus tridens</i>	3	0.33	0.67						
<i>Oniscus asellus</i>	7	0.43	0.43						0.14
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i>	3	0.33	0.33	0.33					
<i>Partnunia steinmanni</i>	6		0.66	0.17					0.17
<i>Pedicia rivosa</i>	3	0.33		0.67					
<i>Pisidium</i> sp.	118	0.52	0.23	0.09	0.04	0.03	0.02	0.05	0.02
<i>Polycelis felina</i>	8	0.63		0.37					
<i>Polydesmus</i> sp.	3	0.67	0.33						
<i>Protonemura</i> sp.	11	0.27	0.55	0.18					
<i>Protzia squamosa squamosa</i>	4	0.25	0.75						
<i>Sericostoma</i> sp.	109	0.16	0.44	0.16	0.03	0.07	0.04		0.11
<i>Soldanellonyx chappuisi</i>	4	0.50	0.25			0.25			
<i>Soldanellonyx monardi</i>	4	0.25	0.50						0.25
<i>Sperchon</i> sp.	6	0.17	0.33	0.17		0.17	0.17		
<i>Trichoniscus</i> sp.	65	0.29	0.51	0.08		0.02		0.03	0.08
<i>Velia</i> sp.	7	0.14	0.14		0.14	0.29	0.14		0.14

Tab. K5-41: Habitatpräferenz der Arten und Gattungen nach aggregierten Habitattypen. Abkürzungen: O: Organisch dominiert, M: Mineralisch dominiert, O/M: Mischtyp, f: feinmaterialreich, g: grobmaterialreich, f-g: fein- bis grobmaterialreich

Die Auswertung der Habitatpräferenz der Fauna in Tab. K5-41 lässt zunächst die besondere Bedeutung organischer Substrattypen erkennen. Die meisten Arten und Gattungen können den organisch dominierten Habitattypen zugeordnet werden (Vorkommen: 2 Taxa – sehr häufig; 12 Taxa – häufig; 24 Taxa – verbreitet). Ein geringer Anteil ist anhand eines verbreiteten Vorkommens den mineralisch dominierten zuzuordnen (6 Taxa). Die Mischtypen weisen 4 verbreitete Taxa hinsichtlich der Stetigkeit des Vorkommens auf. Obwohl die organisch dominierten Habitattypen von den meisten Taxa deutlich bevorzugt besiedelt werden, lässt sich mittels bestimmter Indikatorarten, die hier als Untertyp-Arten bezeichnet werden, dieser Habitattyp auch faunistisch differenzieren.

Eine Überprüfung dieser Befunde stellt die SIMPER-Analyse dar, in der die Indikatorarten, die für die Ähnlichkeit in der Artzusammensetzung innerhalb eines Habitattyps stehen, untersucht werden. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen dem jeweiligen Habitattyp zugeordnet (Tab. K5-42 bis Tab. K5-46), wobei eine statistische Auswertung der Mischtypen sowie dem Habitattyp  $M_{f-g}$  aufgrund einer zu geringen Anzahl von Objekten nicht durchgeführt wurde.

#### Organisch dominierter, feinmaterialreicher Habitattyp ( $O_f$ )

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Pisidium</i> sp.	0.63	5.97	0.75	24.26	24.26
<i>Anacaena</i> sp.	0.57	5.42	0.65	22.04	46.30
<i>Nemoura</i> sp.	0.46	3.29	0.48	13.36	59.66
<i>Dixa</i> sp.	0.35	1.55	0.36	6.28	65.95
<i>Crunoecia irrorata</i>	0.33	1.42	0.34	5.76	71.71
<i>Trichoniscus</i> sp.	0.30	1.21	0.29	4.92	76.63
<i>Galba truncatula</i>	0.26	0.88	0.25	3.56	80.19
<i>Eiseniella tetraedra</i>	0.26	0.85	0.25	3.46	83.65
<i>Sericostoma</i> sp.	0.24	0.67	0.24	2.74	86.40
<i>Leuctra</i> sp.	0.24	0.62	0.24	2.51	88.91
<i>Bythinella dunkeri</i>	0.19	0.47	0.17	1.92	90.83

Tab. K5-42: SIMPER-Analyse für den Habitattyp  $O_f$

#### Organisch dominierter, grobmaterialreicher Habitattyp ( $O_g$ )

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Sericostoma</i> sp.	0.68	5.04	0.87	15.20	15.20
<i>Crunoecia irrorata</i>	0.68	4.98	0.86	15.01	30.21
<i>Anacaena</i> sp.	0.57	3.90	0.64	11.76	41.98
<i>Trichoniscus</i> sp.	0.57	3.27	0.67	9.87	51.85
<i>Pisidium</i> sp.	0.46	2.56	0.46	7.71	59.56
<i>Gammarus fossarum</i>	0.43	1.97	0.46	5.93	65.49
<i>Bythinella dunkeri</i>	0.43	1.91	0.46	5.76	71.24
<i>Crenobia alpina</i>	0.43	1.80	0.46	5.44	76.68
<i>Dixa</i> sp.	0.43	1.72	0.47	5.20	81.88
<i>Bythinella compressa</i>	0.32	1.11	0.32	3.35	85.23
<i>Nemoura</i> sp.	0.30	1.03	0.28	3.10	88.33
<i>Leuctra</i> sp.	0.30	0.79	0.30	2.38	90.71

Tab. K5-43: SIMPER-Analyse für den Habitattyp  $O_g$

Organisch dominierter, fein- bis grobmaterialreicher Habitattyp ( $O_{f-g}$ )

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Sericostoma</i> sp.	0.73	5.11	0.98	15.51	15.51
<i>Anacaena</i> sp.	0.64	4.04	0.73	12.27	27.78
<i>Leuctra</i> sp.	0.64	3.50	0.76	10.63	38.41
<i>Pisidium</i> sp.	0.55	3.47	0.54	10.52	48.93
<i>Crunoecia irrorata</i>	0.64	3.43	0.76	10.42	59.35
<i>Gammarus fossarum</i>	0.45	1.96	0.46	5.94	65.29
<i>Bythinella dunkeri</i>	0.45	1.71	0.46	5.19	70.47
<i>Monachoides incarnatus</i>	0.45	1.63	0.46	4.95	75.42
<i>Crenobia alpina</i>	0.45	1.61	0.46	4.88	80.30
<i>Bythinella compressa</i>	0.36	1.36	0.34	4.12	84.42
<i>Nemoura</i> sp.	0.36	1.34	0.33	4.08	88.50
<i>Trichoniscus</i> sp.	0.36	0.93	0.35	2.83	91.33

Tab. K5-44: SIMPER-Analyse für den Habitattyp  $O_{f-g}$ Mineralisch dominierter, feinmaterialreicher Habitattyp ( $M_f$ )

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Crunoecia irrorata</i>	0.63	5.17	0.73	19.40	19.40
<i>Nemoura</i> sp.	0.63	5.17	0.73	19.40	38.81
<i>Dixa</i> sp.	0.50	3.53	0.50	13.25	52.06
<i>Pisidium</i> sp.	0.50	3.27	0.50	12.27	64.32
<i>Galba truncatula</i>	0.50	2.99	0.51	11.23	75.55
<i>Gammarus fossarum</i>	0.38	2.64	0.33	9.90	85.45
<i>Bythinella dunkeri</i>	0.38	1.55	0.34	5.81	91.27

Tab. K5-45: SIMPER-Analyse für den Habitattyp  $M_f$ Mineralisch dominierter, grobmaterialreicher Habitattyp ( $M_g$ )

Taxon	Mittlere Abundanz	Mittlere Ähnlichkeit	Standardabweichung	Prozentualer Beitrag	Kumulativer Beitrag
<i>Leuctra</i> sp.	1.00	11.90	4.15	29.98	29.98
<i>Anacaena</i> sp.	0.80	6.74	1.11	16.99	46.97
<i>Sericostoma</i> sp.	0.80	6.07	1.15	15.30	62.27
<i>Pisidium</i> sp.	0.60	4.26	0.60	10.74	73.01
<i>Crenobia alpina</i>	0.60	2.73	0.62	6.88	79.89
<i>Eiseniella tetraedra</i>	0.40	1.25	0.32	3.15	83.04
<i>Bythinella dunkeri</i>	0.40	1.11	0.32	2.80	85.84
<i>Crunoecia irrorata</i>	0.40	1.11	0.32	2.80	88.64
<i>Galba truncatula</i>	0.40	0.95	0.32	2.40	91.04

Tab. K5-46: SIMPER-Analyse für den Habitattyp  $M_g$ 

Die Auswertung der detaillierten Habitattypen erfolgt exemplarisch am Beispiel der fünf häufigsten und somit repräsentativsten Habitattypen der untersuchten Quellen. Es sind die Habitattypen (HT) *CPOM dominierter, psammopelalreicher HT* (19,7% der untersuchten Quellen repräsentieren diesen HT), *CPOM dominierter, mikrolithalreicher HT* (13,2% der untersuchten Quellen repräsentieren diesen HT), *Makrophyten dominierter, psammopelalreicher HT* (9,9% der untersuchten Quellen repräsentieren diesen HT), *Makrophyten dominierter, mikrolithalreicher HT* (7,9% der untersuchten Quellen repräsentieren diesen HT) und *Psammopelal dominierter HT* (5,9% der untersuchten Quellen repräsentieren diesen HT). In Tab. K5-47 sind die nachgewiesenen Taxa (Gattung, Art) nach deren Stetigkeit sortiert aufgelistet. Die fettgedruckten Taxa kommen dem Habitattyp entsprechend nur einmal vor und können als Habitattyp-Indikatorarten bzw. Indikatortaxa angesehen werden.



CPOM, Psammopelal		CPOM, Mikrolithal		Makrophyten, Psammopelal		Makrophyten, Mikrolithal		Psammopelal	
Taxon	Stetigkeit	Taxon	Stetigkeit	Taxon	Stetigkeit	Taxon	Stetigkeit	Taxon	Stetigkeit
<i>Psidium</i> sp.	0.69	<i>Anacaena</i> sp.	0.81	<i>Psidium</i> sp.	0.70	<i>Dixa</i> sp.	0.73	<i>Crucocia innotata</i>	0.67
<i>Anacaena</i> sp.	0.68	<i>Crucocia innotata</i>	0.81	<i>Anacaena</i> sp.	0.61	<i>Senecostoma</i> sp.	0.73	<i>Nemoura</i> sp.	0.56
<i>Eiseniella tetraedra</i>	0.42	<i>Eiseniella dunkeri</i>	0.69	<i>Nemoura</i> sp.	0.48	<i>Eiseniella compressa</i>	0.67	<i>Psidium</i> sp.	0.56
<i>Nemoura</i> sp.	0.42	<i>Trichoniscus</i> sp.	0.56	<i>Dixa</i> sp.	0.43	<i>Crenobia alpina</i>	0.60	<i>Eiseniella dunkeri</i>	0.44
<i>Leuctra</i> sp.	0.38	<i>Senecostoma</i> sp.	0.50	<i>Crucocia innotata</i>	0.35	<i>Monachoides incarnatus</i>	0.60	<i>Dixa</i> sp.	0.44
<i>Senecostoma</i> sp.	0.38	<i>Leuctra</i> sp.	0.44	<i>Monachoides incarnatus</i>	0.30	<i>Psidium</i> sp.	0.60	<i>Galba truncatula</i>	0.44
<i>Dixa</i> sp.	0.35	<i>Nemoura</i> sp.	0.44	<i>Eiseniella compressa</i>	0.26	<i>Crucocia innotata</i>	0.63	<i>Gammarus fossarum</i>	0.33
<i>Trichoniscus</i> sp.	0.35	<i>Gammarus fossarum</i>	0.38	<i>Crenobia alpina</i>	0.26	<i>Trichoniscus</i> sp.	0.53	<i>Anacaena</i> sp.	0.22
<i>Eiseniella tetraedra</i>	0.31	<i>Eiseniella tetraedra</i>	0.31	<i>Galba truncatula</i>	0.26	<i>Gammarus fossarum</i>	0.47	<i>Gammarus pulex</i>	0.22
<i>Crucocia innotata</i>	0.31	<i>Niphargus schellenbergi</i>	0.31	<i>Gammarus fossarum</i>	0.22	<i>Anacaena</i> sp.	0.40	<i>Niphargus</i> sp.	0.22
<i>Bezzia</i> sp.	0.27	<i>Psidium</i> sp.	0.31	<i>Senecostoma</i> sp.	0.22	<i>Leuctra</i> sp.	0.27	<i>Senecostoma</i> sp.	0.22
<i>Galba truncatula</i>	0.27	<i>Crenobia alpina</i>	0.25	<i>Trichoniscus</i> sp.	0.22	<i>Nemoura</i> sp.	0.27	<i>Agabus</i> sp.	0.11
<i>Gammarus fossarum</i>	0.27	<i>Dixa</i> sp.	0.25	<i>Eiseniella dunkeri</i>	0.17	<i>Eiseniella dunkeri</i>	0.20	<i>Arianta arbustorum</i>	0.11
<i>Canychium tridentatum</i>	0.19	<i>Canychium</i> sp.	0.19	<i>Ligidium hypnorum</i>	0.17	<i>Gammarus</i> sp.	0.20	<i>Canychium</i> sp.	0.11
<i>Canychium</i> sp.	0.15	<i>Canychium tridentatum</i>	0.19	<i>Agabus</i> sp.	0.13	<i>Protonemura</i> sp.	0.20	<i>Canychium tridentatum</i>	0.11
<i>Discus rotundatus</i>	0.12	<i>Discus rotundatus</i>	0.19	<i>Eiseniella tetraedra</i>	0.13	<i>Bezzia</i> sp.	0.13	<i>Cordulegaster bidentatus</i>	0.11
<i>Gammarus pulex</i>	0.12	<i>Niphargus</i> sp.	0.19	<i>Leobunum blackwalli</i>	0.13	<i>Cicadella viridis</i>	0.13	<i>Isodes</i> sp.	0.11
<i>Niphargus aquilex</i>	0.12	<i>Oniscus asellus</i>	0.19	<i>Leuctra</i> sp.	0.13	<i>Gammarus pulex</i>	0.13	<i>Ligidium hypnorum</i>	0.11
<i>Oniscus asellus</i>	0.12	<i>Protzia squamosa squamosa</i>	0.19	<i>Soldanellonix chappuisi</i>	0.13	<i>Hydrovolzia placophora</i>	0.13	<i>Trichoniscus</i> sp.	0.11
<i>Agabus</i> sp.	0.08	<i>Bezzia</i> sp.	0.13	<i>Soldanellonix chappuisi</i>	0.09	<i>Agabus</i> sp.	0.09	<i>Vella</i> sp.	0.11
<i>Cochlicopa</i> sp.	0.08	<i>Euconulus fulvus</i>	0.13	<i>Cicadella viridis</i>	0.09	<i>Canychium</i> sp.	0.07		
<i>Ligidium hypnorum</i>	0.08	<i>Gammarus pulex</i>	0.13	<i>Hydrobates norvegicus</i>	0.09	<i>Canychium tridentatum</i>	0.07		
<i>Niphargus</i> sp.	0.08	<i>Niphargus aquilex</i>	0.13	<i>Lithobius</i> sp.	0.09	<i>Clinocera</i> sp.	0.07		
<i>Protzia squamosa squamosa</i>	0.08	<i>Parthunia steinmanni</i>	0.13	<i>Nemastoma lugubre</i>	0.09	<i>Cordulegaster bidentatus</i>	0.07		
<i>Amphimemura</i> sp.	0.04	<i>Dugesia gonocephala</i>	0.06	<i>Protonemura</i> sp.	0.09	<i>Discus rotundatus</i>	0.07		
<i>Arenarius fontinalis</i>	0.04	<i>Gammarus</i> sp.	0.06	<i>Soldanellonix monardi</i>	0.09	<i>Eiseniella tetraedra</i>	0.07		
<i>Eiseniella compressa</i>	0.04	<i>Glomeris marginata</i>	0.06	<i>Tetragratha</i> sp.	0.09	<i>Habroplectoides confusa</i>	0.07		
<i>Cordulegaster bidentatus</i>	0.04	<i>Lithobius</i> sp.	0.06	<i>Canychium</i> sp.	0.04	<i>Leberitia lativentris</i>	0.07		
<i>Crenobia alpina</i>	0.04	<i>Polydesmus</i> sp.	0.06	<i>Euconulus</i> sp.	0.04	<i>Leberitia selvei</i>	0.07		
<i>Euconulus fulvus</i>	0.04	<i>Protonemura</i> sp.	0.06	<i>Gammarus pulex</i>	0.04	<i>Niphargus aquilex</i>	0.07		
<i>Habroplectoides confusa</i>	0.04	<i>Protzia</i> sp.	0.06	<i>Helophorus</i> sp.	0.04	<i>Niphargus schellenbergi</i>	0.07		
<i>Helophorus</i> sp.	0.04	<i>Soldanellonix monardi</i>	0.06	<i>Limonia nubeculosa</i>	0.04	<i>Oligolophus tridens</i>	0.07		
<i>Issus coleoptratus</i>	0.04	<i>Sperchon thienemanni</i>	0.06	<i>Lobohalacarus weberi</i>	0.04	<i>Parthunia steinmanni</i>	0.07		
<i>Isodes</i> sp.	0.04			<i>Mitopus morio</i>	0.04	<i>Sperchon thienemanni</i>	0.07		
<i>Lithobius</i> sp.	0.04			<i>Niphargus aquilex</i>	0.04				
<i>Lobohalacarus weberi</i>	0.04			<i>Niphargus</i> sp.	0.04				
<i>Monachoides incarnatus</i>	0.04			<i>Oligolophus tridens</i>	0.04				
<i>Niphargus schellenbergi</i>	0.04			<i>Parasitellus thienemanni</i>	0.04				
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i>	0.04			<i>Parasitellus torrenticolus</i>	0.04				
<i>Polydesmus</i> sp.	0.04			<i>Parathys palustris</i>	0.04				
<i>Protonemura</i> sp.	0.04			<i>Pedicia rivosia</i>	0.04				
<i>Soldanellonix monardi</i>	0.04			<i>Polycelis felina</i>	0.04				
<i>Trichia</i> sp.	0.04			<i>Radix</i> sp.	0.04				
<i>Vella</i> sp.	0.04			<i>Sperchon squamosus</i>	0.04				

Tab. K5-47: Habitatpräferenz der Arten und Gattungen nach detaillierten Habitattypen

Die in Tab. K5-47 fett gedruckten Taxa die nur einmal in einem Habitattyp vorkommen, werden nachfolgend nach Habitattyp aufgelistet (unterstrichenen Taxa) und durch Taxa ergänzt, die insgesamt zweimal in einem Habitattyp vorkommen. Bei den Insekten sind die Imagines gekennzeichnet, ansonsten handelt es sich um Larven:

#### **CPOM dominierter, psammopelalreicher Habitattyp**

Amphinemura sp. (Steinfliege), Arrenurus fontinalis (Süßwassermilbe), Cochlicopa sp. (Glattschnecke), Issus coleoptratus (Echte Käferzikade) als Imago, Paranemastoma quadripunctatum (Weberknecht), Trichia sp. (Haarschnecke), Euconulus fulvus (Helles Kegelchen), Oniscus asellus (Landassel), Polydesmus sp. (Bandfüßer), Protzia squamosa squamosa (Süßwassermilbe), Helophorus sp. (Wasserfreund; Käfer) als Imago, Lobohalacarus weberi (Meeresmilbe), Habroleptoides confusa (Zarte Gabeleintagsfliege), Ixodes sp. (Zecke), Velia sp. (Bachläufer)

#### **CPOM dominierter, mikrolithalreicher Habitattyp**

Dugesia gonocephala (Dreieckskopfstrudelwurm), Glomeris marginata (Gesäumter Saftkugler), Protzia sp. (Süßwassermilbe), Euconulus fulvus (Helles Kegelchen; Schnecke), Oniscus asellus (Landassel), Polydesmus sp. (Bandfüßer), Protzia squamosa squamosa (Süßwassermilbe), Partnunia steinmanni (Süßwassermilbe), Sperchon thienemanni (Süßwassermilbe)

#### **Makrophyten dominierter, psammopelalreicher Habitattyp**

Euconulus sp. (Kegelchen; Schnecke), Hygrobates norvegicus (Süßwassermilbe), Leiobunum blackwalli (Weberknecht), Limonia nubeculosa (Stelzmücke) als Imago, Mitopus morio (Weberknecht), Nemastoma lugubre (Weberknecht), Panisellus thienemanni (Süßwassermilbe), Paniscus torrenticolus (Süßwassermilbe), Parathyas palustris (Süßwassermilbe), Pedicia rivosu (Stelzmücke) als Imago, Polycelis felina (Vielaugenstrudelwurm), Radix sp. (Schlammschnecke), Soldanellonyx chappuisi (Meeresmilbe), Sperchon squamosus (Süßwassermilbe), Tetragnatha sp. (Streckerspinne), Helophorus sp. (Wasserfreund; Käfer) als Imago, Lobohalacarus weberi (Meeresmilbe), Cicadella viridis (Binsenschmuckzikade) als Imago, Oligolophus tridens (Weberknecht)

#### **Makrophyten dominierter, mikrolithalreicher Habitattyp**

Clinocera sp. (Tanzfliege) als Imago, Hydrovolzia placophora (Süßwassermilbe), Lebertia lativentris (Süßwassermilbe), Lebertia sefvei (Süßwassermilbe), Habroleptoides confusa (Zarte Gabeleintagsfliege), Partnunia steinmanni (Süßwassermilbe), Sperchon thienemanni (Süßwassermilbe), Cicadella viridis (Binsenschmuckzikade) als Imago, Oligolophus tridens (Weberknecht)

#### **Psammopelal dominierter Habitattyp**

Arianta arbustorum (Gefleckte Schnirkelschnecke), Ixodes sp. (Zecke), Velia sp. (Bachläufer)

## 6. Diskussion

Die Diskussion wird in zwei unterschiedliche Teilkapitel gegliedert. Es werden die wesentlichen Ergebnisse der Faunazusammensetzung sowie die Substrat-, Habitattyppräferenz und Indikatoreigenschaften der Fauna interpretiert und diskutiert (Kap. 6.1). Hierbei werden die drei zentralen Fragen der Problemstellung (Kap. 1.3) aufgegriffen und beantwortet. Im Anschluss erfolgt eine Diskussion des Untersuchungsansatzes und der Methoden im Sinne einer Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen in der Anwendung (Kap. 6.2).

### 6.1 Faunazusammensetzung

#### Allgemeine und systematische Übersicht

Die regionalen Unterschiede der Individuen- und Taxa-Anzahl sind ein zentraler Aspekt der Quantifizierung von Biodiversitätsmaßen und wird in Bezug auf Standorteigenschaften diskutiert.

Die Interpretation der Faunazusammensetzung nach systematischen Rangstufen erfolgt unter dem Vorbehalt, dass nicht alle Taxa bis auf Artniveau determiniert werden konnten. Allerdings ist dieser Sachverhalt nicht ausschlaggebend, wenn die Ergebnisse zum Beispiel auf der systematischen Rangstufe der Klasse betrachtet werden. Ein Vergleich der Ergebnisse mit den prozentualen Anteilen von Vertretern bestimmter Klassen aus der *Limnofauna europaea* (ILLIES 1978; vgl. BREHM & MEIJERING 1996) zeigt für die meisten Taxa eine Übereinstimmung. Lediglich die *Turbellaria* und *Gastropoda* sind unterrepräsentiert sowie die *Coleoptera* überrepräsentiert. Da jedoch auch die terrestrische Fauna erfasst wurde bzw. Faunenelemente, die nicht ausschließlich an den aquatischen Lebensraum gebunden sind, ist ein Vergleich schwierig. Außerdem ist eine Gegenüberstellung nur im Eukrenal erfasster Taxa (mit der *Limnofauna europaea*) streng genommen nicht sinnvoll, da auch Taxa nur aus dem Hypokrenal als Lebensraum „Quelle“ nach ILLIES (1978) zusammengefasst sind. Da auch eine aktuelle Darstellung einer „(mittel-) europäischen Krenofauna“ aussteht, ist der vorgenommene Vergleich, die Ergebnisse hinsichtlich einer systematischen Übersicht zu interpretieren, nur als eine Näherung zu verstehen. Allerdings deutet sich an, dass die Zusammensetzung der Fauna als „typisch“ für mitteleuropäische Mittelgebirgsquellen anzusehen und somit repräsentativ ist. Des Weiteren kann für die limnologisch bislang wenig bzw. nicht untersuchten Gebiete eine erste biogeographische Inventarisierung vorgelegt werden. Diese Bestandsaufnahme zeigt auch, dass es nicht verwunderlich ist, wenn es regionale Neufunde (*Lebertia lativentris* und *Sperchon mutilus* für das Katastergebiet 4 „Hessen“ im Biospeläologischen Kataster von Hessen; vgl. ZAENKER 2001) innerhalb taxonomisch selten beachteter Tiergruppen, wie den Wassermilben, gibt. Denn faunistisch-ökologische Bestandserfassungen im Eukrenal von Quellgewässer werden nach wie vor zu wenig durchgeführt.

#### Artzusammensetzung

##### Krofdorfer Forst

Die Artzusammensetzung der Quellen im Krofdorfer Forst ist weitestgehend ähnlich. Die Sonderstellung von Quelle KR-35 ist mit dem ausschließlichen Vorkommen der beiden Weberknechtarten *Leiobunum blackwalli* und *Nemastoma lugubre* sowie der Myriapodengattung (Tausendfüßer) *Lithobius* sp. zu erklären. Die beiden Weberknechtarten sind als häufige Vertreter von Laub- und Nadelwaldgesellschaften

und kommen im Wald vor allem an Orten mit hoher relativer Luftfeuchte, aber auch an feuchten Bodenstandorten vor (MARX & SCHÖNHOFER 2005). In wie weit diese Arten eine Affinität zu Quellbereichen haben, kann nicht abschließend beantwortet werden, da keine Veröffentlichungen darüber bekannt sind. Quellbereiche in Wäldern können als ein Habitat dieser Arten aber durchaus häufig sein, da bisherige Fundorte mit feucht-terrestrischen Randbereichen mit Streuauflage oder Vegetation (krautige Pflanzen und Sträucher) in unmittelbarer Gewässernähe dafür sprechen (SCHÖNHOFER 2005). Anhand der vorliegenden eigenen Funddaten können die Weberknechtarten bislang nur als Zufallsfunde bezeichnet werden. Genauere und spezielle Untersuchungen zur Verbreitung der Opiliones in Quellbereichen erscheinen als sinnvoll und notwendig. Eine Analyse die nur die aquatische Fauna zur Interpretation der Artzusammensetzung heranzieht, hätte solche Unterschiede eines Quell-Ökotons nicht aufzeigen können. So wäre der Bestandteil von Weberknechtarten zur Differenzierung solcher Ökotope in weiteren Untersuchungen zu analysieren und zu diskutieren.

### Kellerwald

Trotz des höchsten Distanzmaßes der Untersuchungsgebiete im Vergleich untereinander ist die Artzusammensetzung der meisten Quellen im Kellerwald ähnlich. Wie im Krofdorfer Forst gibt es allerdings „Ausreißer“, wobei hier zwei Quellen mit jeweils individuellen Eigenheiten herausfallen. Quelle KW-05 zeigt eine gesonderte Artzusammensetzung, weil zum einen Taxa wie die Süßwassermilbe *Parathyas palustris* und die Gattung der Schlamm Schnecken *Radix* sp. ausschließlich in dieser Quelle vorkommen, aber auch Arten mit hoher Stetigkeit und Abundanz, wie z.B. *Bythinella dunkeri* (Dunkers Quellschnecke) fehlen. Über *Parathyas palustris* ist zu wenig bekannt, um sichere Aussagen zur Stenotopie zu geben. Diese Wassermilbenart ist eher in temporären Kleingewässern zu finden (ZAWAL 2010), so dass dieser Fund für Quellen als Singularität einzustufen ist. Das Eukrenal ist ebenfalls für Arten der Gattung *Radix* sp. (*Radix peregra* im Hypokrenal bekannt) bislang nicht als häufiges oder typisches Habitat beschrieben (NESEMANN & REISCHÜTZ 2002) und der Fund im Kellerwald ist im gesamten Datensatz nur als Einzelfund vorhanden. Ein Herausstellungsmerkmal der Quelle KW-16 ist schwierig zu interpretieren, da kein Taxon ausschließlich hier vorkommt. Nur die im Kellerwald selten gefundene Steinfliegenlarve der Gattung *Nemoura* sp. kommt hier mit höherer Abundanz vor, dagegen in geringer Arthäufigkeit nur noch in zwei weiteren Quellen. Gemeinsamkeiten zeigt diese Quelle eher mit dem Objekt KW-05, z.B. durch das Vorkommen von *Cicadella viridis*, der Binsenschmuckzikade sowie das Fehlen von *Bythinella dunkeri*. Insgesamt kann die Artzusammensetzung der Kellerwald-Quellen dahingehend interpretiert werden, dass aufgrund der höheren Artenvielfalt der Quellen in diesem Untersuchungsgebiet die größeren Distanzmaße zu erklären sind.

### Burgwald

Eine Analyse der Distanzmaße aus der Ordination der Quellobjekte zeigt zunächst zwei deutliche „Ausreißer“ (Objekte BW-19 und BW-26), einer ansonsten weitgehend ähnlichen Artzusammensetzung im Burgwald. Quelle BW-19 ist durch das alleinige Auftreten der Arten *Panisellus thienemanni* (Süßwassermilbe) und *Soldanellonyx monardi* (Meeresmilbe) gekennzeichnet sowie dem Fehlen ansonsten häufiger Taxa wie *Nemoura* sp. (Steinfliege) und *Pisidium* sp. (Quellerbsenmuschel). Mit der Quelle BW-21 zeigt sich eine Ähnlichkeit im Vorkommen der Meeresmilbenart *Lobohalacarus weberi*. Eine Interpretation dieser Befunde ist aufgrund weitestgehender Unkenntnis zur Verbreitung der Meeresmilben in



Binnenlandsgewässern, inklusive dem Grundwasserlebensraum, sehr schwierig. Auch wenn Meeresmilben in unterschiedlichen Binnenlandsgewässern vorkommen, sind diese Taxa mit großer Wahrscheinlichkeit in Quellen keine reinen Zufallsgäste. *Lobohalacarus weberi* wird von GERECKE, SCHATZ & WOHLTMANN (2009) als krenophile (aber auch hyporhithrobionte) Art eingestuft. Die Meeresmilbenfunde im Biospeläologischen Kataster von Hessen (ZAENKER 2001) deuten auf ein nicht seltenes Auftreten der Meeresmilben in Quellen hin. Es könnte durchaus sinnvoll sein, Quellbereiche als Ökotope zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer mit Hilfe von Meeresmilbenarten zu differenzieren. Allerdings bedarf es hier weiterer Untersuchungen, um diese These zu überprüfen. Quelle BW-26 grenzt sich durch das alleinige Auftreten anderer Arten in einer eigenen Klasse ab. Hier sind es *Metellina merianae* (Herbstspinne), *Neobisium* sp. (Moosskorpion; Pseudoskorpion) und *Parasoldanellonyx parviscutatus* (Meeresmilbe), die zur Differenzierung beitragen. Zur Herbstspinne *Metellina merianae* besteht ein direkter Zusammenhang zu subterranean Lebensräumen wie Höhlen, so dass die Affinität zu Standorten der biospeläologischen Lichtregion (zu denen Quellen gehören) mit weitestgehend konstant kalt-feuchten Umweltbedingungen gegeben ist. Die Nähe dieser Art zu Gewässern und ein Vorkommen in Feuchtwäldern und Mooren sind bekannt (HÄNGGI, STÖCKLI & NENTWIG 1995). Es ist zu vermuten, dass diese Art an Quellen häufiger nachzuweisen ist, wenn man die hygrophilen-terrestrischen Randbereiche des Eukrenal in die Erfassung einbezieht. *Neobisium* sp. bzw. Arten dieser Gattung sind Vertreter der Bodenarthropoden und Rindenbewohner (auch Totholz) die besonders an feuchten Standorten zu finden sind (SCHLEGEL & BLICK 1991, RESSL & BEIER 1958). Auch hierbei könnte es sich um ein Taxon handeln, dass zur faunistischen Differenzierung von Quellstandorten beitragen kann, wenn der Ökotoncharakter berücksichtigt wird. Für die grundwasserbewohnende Meeresmilbenart *Parasoldanellonyx parviscutatus* gilt das oben gesagte (vgl. RUMM 1999).

### Hainich

Die Artzusammensetzung der Quellen im Hainich ist, bezogen auf die Distanzmaße der Ordination, für die meisten Objekte sehr ähnlich. Das dürfte vor allem daran liegen, dass insgesamt wenige Arten mit jeweils hoher Stetigkeit vorkommen. Quelle H-10 bildet dabei eine Ausnahme. Es handelt sich um eine geschlossen verbaute Quelle, die nur eine Art aufweist, *Gammarus fossarum* (Bachflohkrebs). Von einer Artgemeinschaft kann also keine Rede sein. Dieses Objekt wurde jedoch berücksichtigt, um die Auswirkungen von Quellfassungen zu verdeutlichen, wobei man von einer faunistischen Degradation sprechen kann. Nimmt man das Objekt aus der Ordination, so wird deutlich, dass alle Quellen im Hainich eine sehr enge Artzusammensetzung aufweisen.

### Rhön (Schafstein)

Mit insgesamt vier deutlich auseinander liegenden Klassen in der Darstellung der Ordination erscheint die Artzusammensetzung in den Quellen der Rhön zunächst wenig einheitlich. Allerdings sind die Distanzmaße nicht sehr hoch, d.h. die Artkompositionen sind relativ betrachtet ähnlicher als dies zunächst in der graphischen Darstellung erscheint. Die Quellen RH-01, RH-02, RH-04 und RH-08 bilden eine Klasse, die vor allem durch die aquatische Fauna große Ähnlichkeiten aufweist. Die Rhön-Quellschnecke *Bythinella compressa* kommt hier mit hoher Individuendichte vor, ebenso die Gattungen *Pisidium* sp. (Quell-Erbsenmuschel) und *Sericostoma* sp. (Maskenköcherfliege). Die Quellen RH-05 und RH-06 zeichnen sich



durch das Fehlen dieser genannten Taxa mit Ausnahme von *Pisidium* sp. aus. Die gleiche Feststellung muss für Quelle RH-09 getroffen werden. Insgesamt fällt die niedrige Anzahl quelltypischer Arten auf sowie eine allgemein niedrige Individuenzahl der Taxa. Die einzige Quelle, die hinsichtlich ausschließlich vorkommender Arten einen „Ausreißer“ darstellt, ist Objekt RH-07, mit Arten wie *Ligidium hypnorum* (Sumpffassel), *Mitopus morio* (Weberknecht), *Soldanellonyx chappuisi* (Meeresmilbe) und die Gattung *Trichoniscus* sp. (Landassel). Hier sind es erneut hygrophil-terrestrische Faunavertreter sowie eine Halacaridae (Meeresmilbe), die zu einer wesentlichen Differenzierung beitragen. Die Ausweisung von RH-05, RH-06 und RH-09 als eigene Klassen ist wesentlich schwieriger nachzuvollziehen, als es die Ordination bzw. die Clusteranalyse suggeriert. Qualitativ betrachtet sind eher drei Klassen der Artzusammensetzung im Untersuchungsgebiet Schafstein in der Rhön zu erkennen: Klasse 1 (RH-01, RH-02, RH-04 und RH-08), Klasse 2 (RH-05, RH-06 und RH-09) und Klasse 3 (RH-07). Der Sonderstandort des Karpatenbirken-Moorwäldchen wurde hier nicht einbezogen, weil in dieser von Torfmoos dominierten Quelle auf Art- und Gattungsniveau lediglich *Anacaena* sp. (Wasserkäfer) determiniert wurde.

### **Vogelsberg (Niddahänge)**

Im Gebiet des Naturwaldreservats Niddahänge im Vogelsberg ist die Artzusammensetzung der meisten Quellen sehr ähnlich. Nur die beiden Quellen VB-05 und VB-19 bilden eigene Klassen. Quelle VB-05 ist durch das alleinige Auftreten der Taxa *Carychium* sp. (Zwergschnecke) und *Nemastoma lugubre* (Weberknecht) gekennzeichnet. Die Gattung *Carychium* sp. findet sich an feuchten (Wald-) Standorten (SCHAEFER 2006). Für die Weberknechtart sind Lebensräume mit schattigen, feuchten Standorten in Wäldern und Auen beschrieben (MARX & SCHÖNHOFER 2005, MARTENS 1978). Das heißt, auch diese hygrophil-terrestrische Art der Opiliones sollte als Taxon zur Differenzierung von Quellstandorten im Wald weitergehend untersucht werden. Quelle VB-19 zeichnet sich durch das ausschließliche Vorkommen der Süßwassermilbe *Lebertia lativentris* aus. Diese Art ist typisch in Bächen und Quellen (GERECKE 1994).

Insgesamt zeigen alle untersuchten Quellen zusammen eine hohe Ähnlichkeit in der Artzusammensetzung, so dass man von gleichen Typen der Besiedlung im Sinne von adäquat für Mittelgebirgs-Waldquellen der zentralen europäischen Mittelgebirgsschwelle ausgehen kann. Das bedeutet, dass sich die untersuchten Quellen untereinander gut vergleichen lassen. Das heißt, es liegt eine geeignete Grundlage zur Interpretation der Besiedlung spezieller Substrattypen vor, da regionale Unterschiede weitestgehend auszuschließen sind. Trotzdem sind Unterschiede der Besiedlung einzelner Quellen zu erkennen, die im Folgenden diskutiert werden.

### **Faunazusammensetzung, Artenvielfalt und Umweltfaktoren**

Die Artzusammensetzung bzw. das Vorkommen und Fehlen bestimmter Taxa ist zum Teil sehr deutlich von anderen Faktoren als nur vom Substrattyp abhängig. Dass diese Feststellung möglich ist, zeigt den Vorteil des Untersuchungsprogramms, das u.a. Mindestanforderungen an einfache chemisch-physikalische Parameter der Vor-Ort-Analytik berücksichtigt. Die Auswertung multivariater Parameter zeigt, dass vor allem der **pH-Wert** einen bedeutenden Beitrag zur Erklärung der Faunazusammensetzung liefert. Säureintolerante Arten sind in offensichtlich langfristig sauren Quellen des Burgwaldes nicht nachzuweisen. Entsprechend

kommen säuretolerante Arten vor. Auch wenn die hier durchgeführte Kartierung eine Momentaufnahme an jeder einzelnen Quelle darstellt und mehrfache, langfristige Untersuchungen zur Gewässergüte notwendig sind, so ist zumindest aufgrund der Erfassung der Besiedlung ein „Langzeit-Indikator“ aufgenommen. Dieser Ansatz muss auch für weitere Parameter wie **Schüttung** und **Wassertemperatur** in Kombination mit dem reliefabhängigen Quelltyp, also in Auswirkung zur Geländeneigung gesehen werden. Die einmalige Erfassung dieser Parameter zeichnet den Ist-Zustand und keine Dynamik auf. Allerdings lassen sich aufgrund bioindikatorischer Kennzeichnungen der Fauna und auch durch das Nichtvorkommen bestimmter Taxa Interpretationen zu einem längerfristigen ökologischen Zustand der Quellgewässer ableiten. So kann beispielsweise der Nachweis von Arten, welche Trockenperioden im frischen bis feuchten Bodensubstrat überdauern können, einen Hinweis zur Schüttung geben. Dabei ist anzunehmen, dass solche Quellen, die zudem in Oberhanglagen mit geringem Gefälle liegen, entsprechend trockenfallen, also zeitweise keine Schüttung aufweisen. Diese Annahmen konnten zumindest im Untersuchungsgebiet Krofdorfer Forst für ausgewählte Quellen durch mehrmalige, jahreszeitlich differenzierte Geländebegehungen bestätigt werden. Ein weiterer Faktor, der einen bedeutenden Einfluss auf die Artenvielfalt hat, ist die **Waldform**, d.h. die Landnutzungsform mit Baumarten, die in Laub-, Misch- und Nadelwald gegliedert werden kann. Hierbei besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zur Substratvielfalt der Quellgewässer im Wald. Dabei dürfte der Lichtgenuss am Quellstandort eine weitere Bedeutung haben, zumindest für die Möglichkeit zur Ausbildung einer Quellflur mit krautiger Vegetation, die Makrophyten als organischen Substrattyp hervorbringt. Lichte, strukurreiche Laubwälder haben gegenüber stark beschatteten Fichtenmonokulturen eine deutlich höhere Anzahl an Taxa. In wie weit die forstbetriebliche Bewirtschaftung einen Einfluss auf die Artzusammensetzung in Waldquellen hat, kann nicht ausreichend geklärt werden, doch dass die Waldform ein wichtiger Umweltfaktor ist, kann nachgewiesen werden. Vor allem unter Berücksichtigung des Ökotoncharakters zeigt sich die kleinräumig differenzierte Bedeutung des Waldumfeldes sehr deutlich. Hygrophile terrestrische Arten, die entsprechend an Wälder gebunden sind, lassen sich in Quellteillebensräumen nachweisen. Substrate wie Totholz und Falllaub können als integrale Substrattypen gekennzeichnet werden, da sie teillebensraumübergreifend bestimmte Taxa der aquatischen, amphibischen und terrestrischen Fauna beherbergen. Diese Substrate können als waldbürtige Substrattypen bezeichnet werden, die eine spezielle gewässermorphologische Charakteristik der Waldquellgewässer darstellen. Allgemein kann auch anhand der multivariaten statistischen Auswertung des Substrats dessen wichtige Bedeutung als Umweltfaktor herausgestellt werden. Diese Bedeutung des Substrats wird im Folgenden genauer interpretiert und diskutiert.

## 6.2 Substrat-, Habitattyppräferenz und Indikatoreigenschaften

Hier erfolgt die Diskussion der zentralen Fragen, wie sie in der Einleitung zum Stand der Forschung abgeleitet wurden.

### Frage 1

Gibt es Substratpräferenzen bestimmter Taxa (Art, Gattung, Familie) unter Berücksichtigung des Ökotoncharakters von Quellen?

Eine Substratpräferenz bestimmter Taxa ist feststellbar. Allerdings ist zu diskutieren, ob und wie diese Präferenz als Intensität oder Grad einer Bevorzugung von Substrattypen zu interpretieren ist. Hierzu ist eine Aussage im Sinne einer ökologischen Valenz nur bedingt möglich. Denn einige hoch stete Taxa, die eine sehr enge Valenz zeigen, also eine hohe spezifische Substratpräferenz besitzen, sind in der Summe der Einzelfunde, bezogen auf die Anzahl der untersuchten Quellen selten. Es bleibt die Unsicherheit einer geringen Stichprobe. Das heißt, es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Verteilung auf andere Substrattypen bei einer höheren Anzahl von Einzelfunden die Kennzeichnung der bislang festgestellten Substratpräferenz entscheidend anders ausfällt. Trotzdem soll im Folgenden die Indikatoreignung als Zeigertaxon der Substratpräferenz diskutiert werden (vgl. hierzu vor allem Tab. K5-34 und Tab. K5-36).

### ***Bezzia* sp. (Gnitzen)**

Gnitzen sind nach Auswertung der hier untersuchten Quellen ein guter Indikator für feinkörnig-mineralisches Substrat, insbesondere für das Psammopelal. Die Präferenz ist in anderen Gewässertypen (HENNIG 1950), vornehmlich für Bäche, beschrieben (BRAUKMANN 1987). Allerdings werden auch Makrophyten und Algen als Fundorte genannt (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Somit ist für Quellgewässer nicht auszuschließen, dass sich die Larven auch in organischen Substrattypen aufhalten. Der Befund der Substratpräferenz für *Bezzia* sp. ist hier zudem nur möglich, da die mineralischen Substrattypen unabhängig von den organischen Substrattypen (2-Schicht-Ansatz) erfasst wurden. Es ist denkbar, dass Gnitzen im Psammopelal organisch geprägter Fließgewässer mit dem bestehenden Verfahren des Multihabitat-Samplings (MEIER ET AL. 2006) unbeachtet bleiben. Da *Bezzia* sp. nicht quelltypisch ist, wurde dem Taxon zur ökologischen Beurteilung von Quellen bislang keine entsprechende Bedeutung als Indikator beigemessen. Allerdings bieten feinmaterialreiche Quellen offensichtlich einen Lebensraum, den es zur Beurteilung gewässermorphologischer Strukturen zu beachten gilt. Hierbei sollte in weiteren Untersuchungen die Frage verfolgt werden, ob bei einem Verlust des Substrattyps Psammopelal, z.B. durch Verbau oder Veränderung der Quelle, dieses Taxon ein anderes Substrat besiedelt oder ob das Fehlen von Gnitzen ein Indiz für eine spezifische Substratpräferenz darstellt. Möglicherweise könnte *Bezzia* sp. somit ein ökologischer Indikator für gewässerstrukturelle Veränderungen bzw. Degradationen sein. Ferner ist zu bedenken, dass Gnitzenlarven ein Trockenfallen der Quelle im bodenfeuchten Substrat überdauern (HENNIG 1950), d.h. dieses Taxon dürfte für temporäre Quellgewässer zur Beurteilung der Substratpräferenz interessant sein.

### ***Hydrachnellae* und *Halacaroidae* (Süßwasser- und Meeresmilben)**

Süßwasser- und Meeresmilben sind als Vertreter der Meso- oder Meiofauna mit entsprechender Fangmethodik nachweisbar. Da echte Wassermilben häufig eine

sehr enge Biotopbindung an Quellgewässer aufweisen (GERECKE ET AL. 2005, GERECKE, SCHATZ & WOHLTMANN 2009) sowie vielfach nur in bestimmten Substrattypen vorkommen, sind Wassermilben ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der Substratpräferenz und Anzeiger für gewässermorphologisch ungestörte Quellgewässer. Regional lassen sich Charakterarten wie *Partnunia steinmanni* sowie *Arrenurus fontanilis* und *Sperchon* sp. in Assoziation mit dem Höhlenflohkrebs *Niphargus schellenbergi* für falllaubreiche (CPOM-dominierte) Waldquellen kennzeichnen (GERECKE ET AL. 2005). Dieser Befund kann für *Partnunia steinmanni* hier nur teilweise bestätigt werden, da die Art eine höhere Substratpräferenz im Psammopelal aufweist. Auch die Bevorzugung von Moospolstern und Kies (GERECKE, SCHATZ & WOHLTMANN 2009) trifft für die hier untersuchten Quellen nicht zu. Möglicherweise ist dieser Befund der Fangmethodik zuzuschreiben, denn das Falllaubmaterial konnte nur bedingt mit dem kleinen Spezialkescher beprobt werden. Es ist aber auch denkbar, dass Unterschiede des Quelltyps ausschlaggebend sind, denn die externen Ergebnisse wurden in den italienischen Alpen in Rheokrenen gewonnen, die kein Feinsubstrat aufweisen. Allerdings gibt es für Wassermilben generell wenig Befunde zur Substratpräferenz (DI SABATINO, GERECKE & MARTIN 2000), die zudem im Einzelfall bzw. regional betrachtet, unterschiedliche Aussagen geben. Beschreibt MARTIN (1998) für *Arrenurus fontanilis* schlammiges Substrat als bevorzugtes Mikrohabitat im norddeutschen Tiefland, so ist das bevorzugt besiedelte Substrat in Luxemburg Sand (GERECKE ET AL. 2005). Beide Substrattypen können als Fundorte für die hier untersuchten Quellen nicht nachgewiesen werden, zu mal *Arrenurus fontanilis* als Parasit an *Dixa* sp. vornehmlich im CPOM vorkommt. In Hinblick auf die zweite zentrale Frage dieser Arbeit ist kein Substrat als Mikrohabitat maßgeblich, sondern das Vorkommen des Wirtstieres (*host*). Ein weiteres Problem ist, dass zwar einige unterschiedliche Arten nachzuweisen sind, jedoch ist die jeweilige Anzahl an Einzelproben gering. Robuste Aussagen, d.h. belastbare Ergebnisse zur Substratpräferenz sind nur eingeschränkt möglich. Die Angaben zum Mikrohabitat für *Hydrovolzia placophora* in alpinen Bachoberläufen (Moospolster, Fels) und Helokrenen (organischen Ablagerungen) (GERECKE, SCHATZ & WOHLTMANN 2009) können für die untersuchten Mittelgebirgs-Waldquellen nicht festgestellt werden, da die wenigen Einzelfunde vornehmlich im Psammopelal und nachgeordnet im Mikrolithal gefunden wurden. Für *Protzia squamosa squamosa* konnten aus der Literatur keine Angaben zur Substratpräferenz zum Vergleich gewonnen werden. Da die Art meist in Waldquellen vorkommt (GERECKE, SCHATZ & WOHLTMANN 2009) und überwiegend Falllaub (CPOM) sowie Psammopelal besiedelt, ist ein Hinweis zur Kennzeichnung als Indikator für entsprechend CPOM-dominierte, feinmaterialreiche Habitattypen der Quellen. Ähnliches dürfte für *Hygrobates norvegicus* gelten, allerdings sind die geringen Einzelfunde nur im Psammopelal nachzuweisen. Über die Substratpräferenz der Meeresmilben (*Lobohalacarus weberi* und *Soldanellonyx monardi*) sind keine Angaben für Quellen bekannt (GERECKE, SCHATZ & WOHLTMANN 2009). In alpinen Helokrenen wird für *Soldanellonyx chappuisi* ein überwiegender Fundort im Detritus (organisches Substrat) angegeben (GERECKE, SCHATZ & WOHLTMANN 2009). Auch wenn nur wenige Einzelfunde vorliegen, ist eine sehr deutliche bzw. ausschließliche Präferenz zum Psammopelal erkennbar. Weitere Untersuchungen zur Substratpräferenz der *Halacaridae* sind erforderlich.

### **Mollusca (Weichtiere)**

Für die Weichtiere (*Mollusca*) können zum Teil deutliche Substratpräferenzen gekennzeichnet werden, wobei zum einen das Psammopelal als feinkörnig-mineralisches Substrat und zum anderen das grobpartikuläre organische Substrat

(CPOM) bevorzugt besiedelt werden. Das bedeutet, bestimmte Gattungen und Arten der *Mollusca* sind spezielle Substratbesiedler und sind als entsprechende Indikatoren zu charakterisieren. Die Gattung *Pisidium* sp. (Erbsenmuschel), als Vertreter der *Bivalvia* (Muscheln) besiedelt häufig das Psammopelal der Quellgewässer und gilt als typischer Vertreter der Gewässersohle (Makrozoobenthos) mit entsprechend mineralischer Bodenauflage (BREHM & MEIJERING 1996). Auch wenn dieser Befund vor allem aufgrund der hohen Einzelfunde bestätigt werden kann, so sind Erbsenmuscheln im CPOM der Waldquellen als verbreitet zu charakterisieren. Dies kann als besondere Bedeutung des organischen Materials in nährstoffarmen Quellgewässern interpretiert werden. *Pisidium* sp. ist zudem als Anzeiger ungestörter Substratbedingungen zu werten, solange Substratumschichtungen nicht zur Abdrift führen (BREHM & MEIJERING 1996), was jedoch für konstant schwach schüttende Quellen unrealistisch ist und somit nur aufgrund anderweitiger Eingriffe (z.B. Suhle oder anthropogene Veränderung) vorstellbar erscheint. Neben den Funden im Psammopelal und im CPOM konnten Erbsenmuscheln in allen mineralischen Substrattypen nachgewiesen werden, wobei dieser Sachverhalt zu vernachlässigen ist, da es jeweils Einzelfunde sind. *Pisidium* sp. kann als ein charakteristischer Besiedler lehmig-schlammiger Helokrenen angesehen werden, mit einer sekundären Präferenz im CPOM bei einem hohen Falllaubanteil in Waldquellen. Für die beiden Quellschneckenarten *Bythinella dunkeri* (Dunkers Quellschnecke) und *Bythinella compressa* (Rhönquellschnecke) sind unterschiedliche Substratpräferenzen feststellbar. Für *Bythinella dunkeri* wurde von JUNGBLUTH (1988) eine deutlich bevorzugte Besiedlung im Psammopelal festgestellt. Die häufig nachgewiesene Dunkers Quellschnecke ist nach Auswertung der eigenen Funde im CPOM verbreitet (Präferenz), allerdings besiedelt diese Art auch andere organische Substrattypen wie z.B. Totholz (Xylal), aber auch mineralische Substrattypen wie das Psammopelal. Die Klassifikation der Stetigkeit erfolgt zwar in die Stufe „selten“, doch liegen die Werte nah an der Klassengrenze zur Stufe „verbreitet“. Die Einschätzung der Indikatoreignung zur Substratpräferenz ist demzufolge durchaus schwierig. Allerdings scheinen waldbürtige Substrattypen (Falllaub, Totholz) eine deutlich höhere Bedeutung zu haben als feinkörnig-mineralische Substrate. Zusammengefasst sind auch die grobkörnig-mineralischen Substrattypen nahe an der Klassengrenze „verbreitet“. Nur wenn die Substrattypen aggregiert werden, z.B. als Typ „organisches Substrat“, ist eine deutliche Zeigerart-Eignung für *Bythinella dunkeri* zu kennzeichnen, zumal die Dunkers Quellschnecke außerhalb von Wäldern in Quellen selten ist und insbesondere „waldbürtige“ Substrattypen fehlen. Für die Rhönquellschnecke *Bythinella compressa* sind Angaben zur Substratpräferenz in publizierter Literatur sehr wenig bekannt. FITTKAU (1949) benennt Mikrohabitate wie Schlamm, Steine oder untergetauchte Pflanzen, allerdings ohne diese Fundorte genauer zu quantifizieren. Die Auswertung der eigenen Daten zeigt eine Bevorzugung des Psammopelals. Auch Totholz wird deutlich besiedelt, wenn auch hier als „selten“ deklariert, so doch nahe der Klassengrenze zu „verbreitet“. Insgesamt werden im Vergleich zur Dunkers Quellschnecke weniger Substrattypen besiedelt. Aggregiert man die Substrattypen entsprechend in mineralisches Fein- und Grobmaterial sowie organisches Material, ist keine eindeutige Zuordnung der Substratpräferenz möglich. Die Bedeutung organischer Substrattypen ist jedoch auch für diese sehr häufig nur in Waldquellen zu findende Art zu beachten. Weitere Untersuchungen zur Substratpräferenz der endemischen Rhönquellschnecke, vor allem vor dem Hintergrund der besonderen Schutzwürdigkeit einer solchen seltenen Art, erscheinen als dringend notwendig. Als Indikator zur Kennzeichnung einer spezifischen Substratpräferenz ist *Bythinella compressa* nach dem jetzigen Stand



der Untersuchung als ungeeignet einzustufen. Auch für die Gattung *Carychium* bzw. die Art *Carychium tridentatum* ist eine deutliche Substratpräferenz nicht festzustellen. Allerdings werden nicht so viele unterschiedliche Substrattypen besiedelt, wie das bei den Quellschnecken (*Bythinella*) der Fall ist, doch wird das Psammopelal und das CPOM fast gleichermaßen stetig besiedelt. Ähnlich wie bei *Bythinella* besteht das Problem, dass organische Substrattypen, insbesondere Totholz, nahe der Klassengrenze „verbreitet“ besiedelt werden. Als guter Indikator zur Substratpräferenz eignet sich *Carychium tridentatum* bzw. die Gattung *Carychium* lediglich für den aggregierten Typ „organisches Substrat“. Wesentlich deutlicher ist die Substratpräferenz bei *Galba truncatula* (Kleine Sumpfschnecke) zu charakterisieren. Die Kleine Sumpfschnecke bevorzugt in den hier untersuchten Quellgewässern grobpartikuläres organisches Material (CPOM), was für andere Gewässertypen nicht sehr häufig beschrieben ist, da meist Wasserpflanzen oder Schlamm als Fundorte angegeben werden (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Bislang ist *Galba truncatula* als krenophile und aquatische Art zur ökologischen Kennzeichnung in Quellgewässern wenig beachtet worden. Da die Kleine Sumpfschnecke jedoch ein Trockenfallen in bodenfeuchtem Substrat überdauert (SCHMEDTJE & COLLING 1996), ist dieses Taxon für temporäre Waldquellen als Indikator von Bedeutung. Für *Euconulus* sp. bzw. *Euconulus fulvus* erscheint die Indikatoreignung zur Substratpräferenz ebenfalls deutlich, jedoch ist die geringe Anzahl von Einzelfunden kritisch zu sehen, d.h. Angaben zur Substratpräferenz müssen für *Euconulus* mit entsprechendem Vorbehalt gesehen werden. Beachtenswert ist die Einbeziehung terrestrischer Mollusken wie *Discus rotundatus* und *Monachoides incarnatus*. Hier wird der Ökotoncharakter zum hygrophil-terrestrischen Übergangsbereich der Quellgewässer deutlich. *Discus rotundatus* präferiert organische Substrattypen, vor allem Totholz (Xylal) und kann als Indikator strukturreicher Waldquellen interpretiert werden, sofern liegendes Totholz im Quellbereich belassen wird. *Monachoides incarnatus* ist vornehmlich an emersen Makrophyten, insbesondere krautigen Staudenpflanzen zu finden, d.h. sollte als Taxon betrachtet werden, welches für lichte Waldquellen mit entsprechender Quellflur als Zeigerart fungiert. Erstaunlich ist am Beispiel der typischen Landschnecken-Waldart *Monachoides incarnatus*, dass dieses Taxon als Laubtotholz-Indikator eingestuft wird (STRÄTZ & MÜLLER 2006). Offensichtlich wird im Quellbereich jedoch ein anderer Substrattyp präferiert. Die Ergebnisse der Funde von Landgastropoda deuten an, dass solche Schnecken, die an feuchten Waldstandorten in unmittelbarer Quellnähe zu finden sind, zur ökologischen Beurteilung der Quellgewässer und ihrem Umfeld einzubeziehen sind, da es sich für solche Taxa um Refugiallebensräume handeln kann.

### ***Amphipoda* und *Isopoda* (Crustacea, Krebstiere)**

Die häufig in Quellen zu findende Flohkrebsart (*Amphipoda*) *Gammarus fossarum* zeigt eine große Bandbreite an besiedelten Substrattypen, bevorzugt dabei allerdings grobpartikuläres organisches Material (CPOM). Eine eindeutige Substratpräferenz eines bestimmten Substrattyps ist aber eher nicht gegeben. Insbesondere wenn die einzelnen Substrattypen aggregiert werden, ist eine entsprechende Zuordnung nicht möglich. Dieser Befund gilt in gleichem Maße für *Gammarus pulex*, wobei diese Flohkrebsart eher das Psammopelal besiedelt und erst als zweite Präferenz im CPOM zu finden ist. Das die beiden *Gammarus*-arten unterschiedliche Mikrohabitate besiedeln, ist in der Literatur nicht immer deutlich, da hier häufig dem Falllaub (CPOM) eine besondere Bedeutung beigemessen wird, ohne allerdings nähere quantitative Angaben zu erhalten (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Eine bessere Eignung als Zeigerarten zur Substratpräferenz ist für die beiden Arten der Gattung

*Niphargus* festzustellen. *Niphargus aquilex* und in ähnlicher Weise, wenn auch mit etwas geringerer Stetigkeit, *Niphargus schellenbergi* sind besonders häufig im CPOM zu finden. Die Substratpräferenz von Niphargen in Quellen ist bislang sehr wenig beschrieben worden, wobei Falllaub als präferiertes Substrat erwähnt wird (LUDWIG 1989). Den Höhlen- oder Grundwasserflohkrebsen dürfte in gewässermorphologisch ungestörten Waldquellen auch eine übergeordnete Indikatoreignung zur Substratpräferenz zuzuordnen sein. Nämlich als Zeigerart zur Gewährleistung der ökologischen Passierbarkeit bzw. Durchgängigkeit zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer und somit als Anzeiger eines ungestörten Ökotoons. Sehr interessant ist der Befund für die Asselart (*Isopoda*) *Ligidium hypnorum* (Sumpfassel) mit einer deutlichen Substratpräferenz des Substrattyps Moospolster in den untersuchten Waldquellen. Angaben zu Mikrohabitaten finden sich in der Literatur bislang für feucht-schattige Standorte in Wäldern mit Totholz, Laub oder Steinen (SCHMEDITJE & COLLING 1996). Als terrestrisch-hygrophile Art ist der Sumpfassel möglicherweise eine besondere Bedeutung zur ökologischen Beurteilung der Quellgewässer und deren Umfeld, z.B. an Quellen mit stärkerer Beschattung, beizumessen. Aufgrund der entsprechend wenigen Einzelfunde sollten vor allem Quellen der Schluchtwälder bzw. dicht bewaldete Quellgewässer detailliert untersucht werden, um diesen Befund zu überprüfen. Zwei weitere Vertreter der Isopoda zeigen ebenfalls eine besondere Bindung zu organischen Substraten. *Oniscus asellus* (Mauerassel) scheint unter dem Vorbehalt der geringen Anzahl an Einzelfunden Totholz (Xylal) zu präferieren. Damit könnte diese Art ein weiterer guter Indikator für strukturreiche Waldquellen sein. Für die sehr viel häufiger zu findende Gattung *Trichoniscus* sp. ist eine deutliche Substratpräferenz schwieriger zu kennzeichnen. Allerdings werden organische Substrattypen bevorzugt, wobei die Gattung mit der höchsten Stetigkeit auf Totholz nachzuweisen ist. Da jedoch drei unterschiedliche Substrattypen letztendlich gleichermaßen besiedelt werden, ist eine Indikatoreignung nicht gegeben, um detaillierte Aussagen zur Substratpräferenz zuzulassen.

### **Coleoptera (Käfer)**

Die Schnellschwimmkäfergattung *Agabus* sp. fällt durch ein verbreitetes Auftreten im Substrattyp CPOM auf, doch werden auch andere Substrate wie Psammopelal und Totholz besiedelt. Außerdem ist *Agabus* sp. nur mit wenigen Einzelfunden vertreten, so dass von einer nicht geeigneten Indikatortauglichkeit zur Substratpräferenz auszugehen ist. Der in Quellen häufiger anzutreffende Wasserkäfer *Anacaena* sp. zeigt eine Substratpräferenz lediglich für organische Substrattypen. Ansonsten ist eine Zuordnung zu einem bestimmten Substrattyp nicht eindeutig zu kennzeichnen, da grobpartikuläres organisches Material (CPOM) und Totholz (Xylal) annähernd gleichermaßen besiedelt werden. Auch für den Wasserkäfer *Helophorus* sp. wird von einer Interpretation der Substratpräferenz Abstand genommen, auch wenn zunächst eine deutlichere Bevorzugung von Moospolstern erkennbar ist, so ist zum einen die Anzahl der Einzelfunde gering und zum anderen werden auch Totholz und CPOM verbreitet besiedelt. Insgesamt ist eine Zuordnung zu einer Substratpräferenz schwierig bzw. sollte hier unterbleiben, da die artenreichen Käfergattungen nicht näher determiniert werden konnten.

### **Opiliones (Weberknechte)**

Weberknechte eignen sich als terrestrische Taxa möglicherweise gut als Indikatoren der Substratpräferenz an Quellgewässern. Die Arten *Leiobunum blackwalli* und *Oligolophus tridens* besiedeln fast ausnahmslos emerse Makrophyten.

*Paranemastoma quatripunctatum* bevorzugt Totholz (Xylal), d.h. die Arten sind für Waldquellen mit entsprechender Quellflur und der Ausstattung waldbürtiger Kleinstrukturen als Zeigerarten interessant. Problematisch ist die Tatsache, dass es sich bei den genannten Taxa um Arten handelt, deren Einzelfund-Anzahl sehr gering ist. Ein zweites Problem ist, dass diese Gruppe bislang zur ökologischen Beurteilung von Quellgewässern keine bzw. sehr wenig Beachtung erfahren hat. Das heißt, es ist schwierig einzuschätzen, in wie weit der terrestrisch-hygrophile Quellbereich ein Lebensraum für bestimmte Weberknechtarten darstellt. Es ist zum Beispiel für *Leiobunum* bekannt, dass dunkle und feuchte Habitate wie Höhlen zur Überwinterung aufgesucht werden (HOLMBERG, ANGERILLI & LACASSE 1984), *Oligolophus tridens* Auwaldhabitate besiedelt (MARX & SCHÖNHOFER 2005) oder sich *Paranemastoma quatripunctatum* in feuchte Laubschichten montaner Wälder findet (AUSOBSKY 1987). D.h., solche Taxa sind offensichtlich an konstant kühle und feuchte Standorte angepasst. Aber inwiefern dann spezielle Mikrohabitate besiedelt werden, darüber ist aus der Literatur hinaus eine umfangreichere Recherche notwendig, als sie hier geleistet werden kann. Generell besteht dringender Forschungsbedarf zur Substratpräferenz der Opiliones an Quellen.

### **Plathelminthes (Plattwürmer)**

Die beiden Vertreter der Plattwürmer *Crenobia alpina* und *Polycelis felina* zeigen keine eindeutigen Indikatoreigenschaften zur Substratpräferenz der Quellgewässer. Allerdings ist dieser Befund nicht zu erwarten gewesen, da es in der Literatur entsprechende Angaben zu bevorzugten Mikrohabitaten gibt. Für *Crenobia alpina* werden häufig Steine als Substrat angegeben, d.h. die Strudelwürmer befinden sich meist auf der Unterseite von Steinen die der Gewässersohle zuzuordnen sind (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Möglicherweise ist dies strömungsbedingt für das Hypokrenal und das Epirhithral typisch, auch wenn hier quantitative Angaben fehlen. Zur Besiedlung ist im Eukrenal offensichtlich Falllaub (CPOM) von größerer Bedeutung. Aggregiert man die Substrattypen, so gewinnen auch grobkörnig-mineralische Substrate an Bedeutung. Insgesamt ist keine Substratpräferenz für *Crenobia alpina* festzustellen. Für *Polycelis felina* ist ebenfalls keine eindeutige Substratpräferenz zu erkennen, zudem sind die Einzelfunde gering.

### **Plecoptera (Steinfliegen)**

Bei den drei Steinfliegengattungen *Leuctra* sp., *Nemoura* sp. und *Protonemura* sp. fallen die Ergebnisse etwas unterschiedlich aus. Keine eindeutige Substratpräferenz ist für die Larven von *Leuctra* sp. zu finden, d.h. als Indikator ist dieses Taxon wohl ungeeignet. Auch in der Literatur gibt es Angaben zu sehr unterschiedlich besiedelten Substrattypen (Moos, Wasserpflanzen, Falllaub, Algen, Geröll) die sich jedoch fast ausschließlich auf das Rhithral beziehen (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Auch für die Larven der Gattung *Nemoura* sp. sind die bekannten besiedelten Substrattypen sehr ähnlich (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Allerdings ist der Befund der Substratpräferenz für die untersuchten Quellgewässer etwas deutlicher. *Nemoura* sp. eignet sich gut als Indikator, vor allem für grobpartikuläres organisches Material (CPOM) bzw. für organische Substrattypen in Quellen. Allerdings gilt die Einschränkung, dass *Nemoura*-Arten eher als ubiquitäre, anpassungsfähige Gewässertypen-Besiedler gelten und als Anzeiger für strukturreiche, naturnahe Waldquellen als wenig aussagekräftig einzustufen sind. Innerhalb der Steinfliegen ist bei der Gattung *Protonemura* sp. die Substratpräferenz im Totholz (Xylal) am deutlichsten ausgeprägt. Bislang gilt das Xylal als wenig bekanntes bevorzugtes Substrat in Quellen (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Nimmt man die hier

nachzuweisende Anzahl von Einzelfunden als robust zur Interpretation der Indikatoreignung an, so ist dieses Taxon als geeigneter Anzeiger einzustufen. Weitere vergleichende Untersuchungen für *Protonemura* sp. erscheinen zur Überprüfung dieser Feststellung notwendig.

### **Trichoptera (Köcherfliegen)**

Die nicht eindeutige Substratpräferenz bzw. die vielfältige Besiedlung unterschiedlicher Substrattypen der Quell- oder Vierkant-Köcherfliege *Crunoecia irrorata* ist aufgrund des als bekannt geltenden Mikrohabitats Moospolster in überrieselten (hygropetrischen) Quellbereichen (SCHMEDTJE & COLLING 1996) überraschend. Offensichtlich ist die Substratpräferenz für Helokrenen mit sehr geringen oder fehlenden Rieselflurbereichen, wie sie für Rheokrenen typisch sind, anders. Für *Crunoecia irrorata* ist eine Bevorzugung des CPOM festzustellen und auch die Köcher bestehen größtenteils aus Falllaubmaterial. Als Indikator der Substratpräferenz ist *Crunoecia irrorata* gut geeignet. Die für sandig-kiesiges Substrat bzw. mineralische Bäche bekannte Köcherfliege *Sericostoma* sp. (TIMM & SOMMERHÄUSER 1993) ist auch für die hier untersuchten Quellen als Indikator für grobsubstratdominierte Quellen zu kennzeichnen. Insgesamt besiedelt *Sericostoma* sp. vor allem mineralische Substrattypen besonders häufig.

### **Chilopoda (Hundertfüßer)**

Die beiden Vertreter der Hundertfüßer *Lithobius* sp. und *Polydesmus* sp. sind als typische Waldbodenarthropoden auf organische Substrattypen der Quellen beschränkt. Zur Interpretation der Eignung als Indikatoren der Substratpräferenz für Quellgewässer besteht auch hier die Schwierigkeit, dass die Anzahl der Einzelfunde gering ist. Es kann zwar eine enge räumliche Anbindung an das terrestrische Umfeld der Quellen festgestellt werden, allerdings bleibt die Frage offen, in wie weit Chilopoden als Zufallsgäste in Quellen zu deuten sind. Als Substratindikatoren sind die beiden Hundertfüßergattungen eher ungeeignet (vgl. RONDE 1957), obwohl die Hundertfüßer durch ihre spezielle Physiologie an feuchte Standorte gebunden sind (TICHY 1972).

### **Sonstige Taxa**

*Cicadella viridis* (Binsenschmuckzikade) ist in gering beschatteten Waldquellen mit entsprechender Quellflur häufig zu finden (ZAENKER 2001). Die Indikatoreignung von *Cicadella viridis* als Anzeiger krautiger Laubwaldquellen wird unter Vorbehalt als gut eingestuft. Da keine Netzfänge in der Krautschicht durchgeführt wurden, ist dieses Taxon hier selten nachzuweisen. Die Larven der Libellen von *Cordulegaster bidentatus* (Quelljungfer) fallen als einzige deutliche Besiedler des Mikrolithal auf. Da die Einzelfunde jedoch gering sind, kann dieses Ergebnis nur unter Vorbehalt interpretiert werden. Allerdings sind Libellenlarven im Eukrenal eher selten, wobei bekannt ist, dass sich die Larven in das Bodensubstrat eingraben (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Auch unter dem Aspekt, dass in den untersuchten Mittelgebirgsregionen vor allem feinmaterialdominierte Sickerquellen vorherrschen und der Anteil grobmaterialdominierter Quellen nicht ausreicht, um eine auffällig differenzierte Besiedlung mit anderen Taxa aufzuzeigen, ist die Indikatoreignung zur Substratpräferenz für Quellgewässer in Bezug auf *Cordulegaster bidentatus* eher als nicht geeignet einzustufen. Die überwiegende Anzahl an Larven der Tastermücke *Dixa* sp. präferieren das grobpartikuläre organische Material (CPOM) sowie in nicht ganz unbedeutender Anzahl auch Totholz (Xylal). Die in hygropetrischen Rieselflurbereichen in Quellen im Wald und im Freiland beschriebenen



Tastermückenlarven wurden bislang den submersen Makrophyten (BREHM & MEIJERING 1996) oder Steinen (LUDWIG 1989) zugeordnet. Möglicherweise gilt auch für *Dixa* sp. in Waldsickerquellen (Helokrene) eine durchaus andere Substratpräferenz, als es für Rheokrene typisch ist. Aufgrund nicht unwesentlich anderweitig besiedelter Substrattypen ist die Indikatoreignung zur Substratpräferenz als nur bedingt gegeben einzustufen. Für die aggregierten organischen Substrattypen sind die Tastermücken ein guter Anzeiger in Sickerquellen des Waldes. Der Ufer-Regenwurm (*Eiseniella tetraedra*) ist ein guter Indikator für organische Substrattypen, vor allem für Totholz und nachgeordnet für das CPOM. Dieser Befund ist für Quellgewässer interessant, da dieses Taxon bislang in anderen Substrattypen beschrieben wurde. In DANIELOPOL (1984) wird *Eiseniella tetraedra* als Kieslückenbewohner bezeichnet, andere Mikrohabitate sind Moospolster oder Steine (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Da die Anzahl an Einzelfunden als aussagekräftig eingeschätzt wird, erscheint die Substratpräferenz im Eukrenal offensichtlich für den Ufer-Regenwurm in Waldquellen differenzierter zu sein, als bislang bekannt bzw. anzunehmen war. Die wenigen Funde der Eintagsfliegenlarven von *Habroleptoides confusa* deuten eine Präferenz für das CPOM an. Eine sichere Aussage zur Indikatoreignung dieses Taxons erfolgt hier nicht, da weitere Ergebnisse den Befund zunächst überprüfen sollten. Das gleiche gilt für die Taxa *Ixodes* sp., *Neobisium* sp. und *Pedicia rivosa*. Zecken (*Ixodes* sp.) und Pseudoskorpione (*Neobisium* sp.) sind eher Zufallsgäste, deren Einzelfund-Anzahl gering ist und nicht weiter interpretiert wird. Für die Pseudoskorpiongattung *Neobisium* sp. kann nicht geklärt werden, ob es sich um terrestrisch-hygrophile Formen handelt. Gegebenenfalls sind bestimmte Arten als Indikatoren zur Substratpräferenz im Eukrenal heranzuziehen, wenn ihre Beziehung zum Substrat genauer untersucht wird. Die Funde der Sumpfmücke *Pedicia rivosa* wurden als Imagines nachgewiesen. Möglich ist, dass diese Art bei entsprechenden Netzfängen häufiger in der krautigen Quellflur auftreten (ZAENKER 2001). Auch für den Bachläufer (*Velia* sp.) ist eine Aussage zur Indikatoreignung schwierig, zumal für dieses Taxon nur Angaben für Fließgewässer bekannt sind (SCHMEDTJE & COLLING 1996). Für Quellen muss *Velia* sp. zunächst als nicht geeigneter Zeiger der Substratpräferenz eingestuft werden.

## Frage 2

Welche Funktion hat das Substrat bzw. der Substrattyp als Mikrohabitat für die Fauna der Quellgewässer?

Die Kennzeichnung der Lebensweise und der Lebensform der Taxa ermöglicht Rückschlüsse auf die Funktion die ein Substrattyp als Mikrohabitat haben kann. Dabei wird auf entsprechende Degradationen der Hydromorphologie eingegangen, um mögliche Gefährdungspotenziale der Besiedlung aufzuzeigen. Wesentliche autökologische Kennzeichen der Fauna sind die Ernährungsweise bzw. der Ernährungstyp eines Taxon. Vor allem wenn ein unmittelbarer Zusammenhang zum Substrat als Nahrungsgrundlage gegeben ist. Somit kann auch die Indikatoreignung zur Substratpräferenz ergänzend interpretiert werden, z.B. wenn ein Detritusfresser oder Zerkleinerer häufig im CPOM nachzuweisen ist. Besteht offensichtlich kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Ernährungstyp und Substrat, so können Wuchsform oder Wachstumsstadium Rückschlüsse auf das Substrat als Aufenthaltsort geben. Insektenlarven oder juvenile Tiere sind ein Indiz dafür, dass möglicherweise bestimmte Substrattypen als Rückzugs- und Reproduktionsort („Kinderstube“) aufgesucht werden. Im Folgenden werden entsprechend der zu Frage 1 zusammengestellten Tiergruppen die Taxa nach der Lebensweise



gekennzeichnet, um die Frage zur Funktion der Substrattypen als Mikrohabitat zu diskutieren. Zur besseren Übersicht werden in Tab. K6-1 die Ernährungstypen und deren Nahrungsquellen aufgelistet (vgl. mit Tab. K5-24).

Ernährungstyp	Kürzel	Nahrungsquelle
Weidegänger	WEI	epi- und endolithische Algen, Biofilm, teilweise Detritus und lebendes Pflanzengewebe
Zellstecher / Blattminierer	ZST	Algen- und Wasserpflanzenzellen
Holzfresser	HOL	Totholz
Zerkleinerer	ZKL	CPOM
Sediment- / Detritusfresser	SED/DET	FPOM, pflanzlicher Detritus, Bakterien, lebende Algen, z.T. mineralische Stoffe
Filtrierer / Strudler	FIL	Schwebende Partikel (Algen, FPOM, kleine Tiere) durch aktives oder passives filtern oder strudeln
Räuber	RÄU	Lebende Beutetiere
Parasiten	PAR	Körpersubstanzen des Wirts
Sonstige	SON	Sonstige Nahrung (z.B. Aas)

Tab. K6-1: Ernährungstypen und Nahrungsquelle. Nach SCHMEDTJE & COLLING (1996) und MOOG (2002)

Die im Folgenden gegebenen Angaben zur Ernährungsweise und zum Mikrohabitat beziehen sich, wenn nicht anderweitig kenntlich gemacht, auf die autökologischen Angaben nach SCHMEDTJE & COLLING (1996) und MOOG (2002).

### ***Bezzia* sp.**

Angaben zum Ernährungstyp bzw. dessen Quantifizierung im Sinne von Ernährungstypenäquivalenzwerten (vgl. mit Tab. K5-24) sind derzeit nur soweit möglich, als bekannt ist, dass Gnitzen Zerkleiner, Sediment-/Detritusfresser sind sowie räuberisch leben. Aufgrund der sehr deutlichen Präferenz zum Substrattyp Psammopelal muss von einer hauptsächlichen Ernährungsweise als Zerkleiner und Sediment-/Detritusfresser im Eukrenal ausgegangen werden. Das bedeutet, für Gnitzen sind lehmig, schlammige Mikrohabitate vor allem unmittelbare Orte der Nahrungsaufnahme. Somit dürften Gnitzen (*Bezzia* sp.) als gute Substratindikatoren für das Psammopelal als Mikrohabitat bzw. für mineralisches Feinmaterial gelten.

### ***Hydrachnellae* und *Halacaroidae* (Süßwasser- und Meeressmilben)**

Süßwassermilben (*Hydrachnellae*) sind als überwiegend räuberisch lebend bekannt, allerdings gibt es auch parasitierenden Arten (DI SABATINO, GERECKE & MARTIN 2000). Die zum Teil sehr deutliche Präferenz zu bestimmten Substrattypen, insbesondere zum mineralischen Feinmaterial und der für einige Arten bekannte Lebenszyklus sprechen in erster Linie für Funktionen wie Rückzug und Reproduktion im Sediment (DI SABATINO, GERECKE & MARTIN 2000). Für parasitierende Arten wie *Arrenurus fontinalis* gilt das Substrat nur insofern als Mikrohabitat, da hier der Wirt (in diesem Fall *Dixa*-Larven) aufgesucht wird. Allerdings besteht eine wichtige indirekte Bedeutung des Substrats darin, dass der aufgesuchte Wirt selbst eine gewisse Substratpräferenz haben kann und somit parasitierende Süßwassermilben als

entsprechend gute Indikatoren der Substratpräferenz geeignet sind. Diese Annahme erscheint dadurch begründet, da am Beispiel von *Arrenurus fontinalis* ein ähnlich gehäuftes Auftreten im CPOM zu erkennen ist, wie bei der Gattung *Dixa* sp., welche als Wirt parasitiert wird. Das Wirtsspektrum der Süßwassermilben ist jedoch größtenteils unklar, da umfangreiche Studien fehlen (MARTIN, STUR & WIEDENBRUG 2010). Die Ernährungsweise der Meeresmilben (*Halacaroidae*) ist weitestgehend unklar, jedoch kann man für Halacariden eine parasitierende Lebensweise ausschließen (GERECKE ET AL. 2005). Das deutlich präferierte Psammopelal ist zumindest als Rückzugsort aufzufassen, möglicherweise findet auch die Reproduktion in diesem Mikrohabitat statt, zudem wird ein Überdauern der Eier in trockenfallenden Quellen vermutet (GERECKE ET AL. 2005). Als Indikatoren zur Substratpräferenz dürften Meeresmilben in Quellgewässern von Bedeutung sein, wobei ein entsprechender Forschungsbedarf besteht.

### **Mollusca (Weichtiere)**

Quell-Erbsenmuscheln (*Pisidium* sp.) sind allesamt Filtrierer. Im Eukrenal haben Pisidien eine Substratpräferenz im Psammopelal und mit geringerer Stetigkeit im CPOM. Die Tiere können sich in das Bodensubstrat eingraben, was ein Abdriften verhindert (BREHM & MEIJERING 1996). Das Substrat hat die Funktion eines Refugiums, welches zusätzlich der Nahrungsaufnahme dient. Da alle Pisidienarten als reine Filtrierer bekannt sind, eignet sich bereits die Gattung als guter Indikator zur Substratpräferenz. Für die unterschiedlichen Substratpräferenzen der beiden Quellschneckenarten *Bythinella compressa* und *Bythinella dunkeri* erlaubt die etwas differente Ernährungsweise eine gute Möglichkeit der Erklärung. Als reiner Weidegänger präferiert *Bythinella dunkeri* das CPOM, weil es hier offensichtlich Biofilme und FPOM (feinpartikuläres organisches Material) auf den Lauboberflächen als Nahrungsgrundlage findet. *Bythinella compressa* ist zwar ebenfalls als Weidegänger bekannt, aber auch als Sedimentfresser, was die Bevorzugung des Psammopelals erklären würde. In beiden Fällen besteht also ein direkter Zusammenhang zwischen der Art und dem Mikrohabitat als Nahrungsgrundlage, was für eine gute Indikatoreignung der beiden Taxa sprechen würde. Allerdings werden insgesamt weitere Substrattypen nennenswert besiedelt (bezüglich der Stetigkeit), so dass von der Eignung als Indikator einer spezifischen Substratpräferenz, mit Ausnahme von *Bythinella dunkeri* für organische Substrattypen aggregiert, abzusehen ist. Die der Fauna liminaria zugeordnete *Carychium tridentatum* ist als reiner Zerkleinerer im CPOM gut als präferierende Art dieses Substrattyps zu erklären. Die fast genauso ausgeprägte Stetigkeit der Funde im Psammopelal lässt sich jedoch nicht einfach interpretieren. Ein Erklärungsansatz ist eine Substratdurchmischung des Psammopelals mit organischen Partikeln, z.B. zerkleinertes Falllaubmaterial. Aufgrund der Ernährungsweise dürfte *Carychium tridentatum* eher als Indikator für das CPOM zu werten sein, weil das Mikrohabitat dem Taxon als unmittelbare Nahrungsgrundlage dient. Auch für *Galba truncatula* ist das grobpartikuläre organische Material (CPOM) ein Mikrohabitat, das als Ort der Nahrungsaufnahme fungiert. Offensichtlich ist die Ernährungsweise als Weidegänger und Zerkleinerer gegenüber der als Sediment-/Detritusfresser im Eukrenal vorherrschend. Das Taxon stellt für das CPOM ebenfalls einen geeigneten Indikator dar. Die Ernährungsweise der terrestrischen Art *Euconulus fulvus* ist bislang nicht eindeutig geklärt, auch wenn *Euconulus fulvus* als Zerkleinerer und möglicher Holzfresser gilt. Die hier festgestellte Präferenz von CPOM und die nicht unbedeutende Anzahl von Einzelfunden der Gattung im Totholz (Xylal) sind für beide Ernährungsweisen plausibel. Als nicht aquatischer Indikator für strukturreiche

Waldquellen ist dieses Taxon also wahrscheinlich gut geeignet. Ähnlich unklar ist die Gewichtung des Ernährungstyps bei der terrestrisch-hygrophilen Art *Discus rotundatus* (Schüsselschnecke), die als Zerkleinerer und Sediment-/Detritusfresser gilt. Die Substratpräferenz zum Substrattyp Xylal (Totholz) im Quellbereich ist damit schwer zu interpretieren. Ein Erklärungsansatz ist, dass dieses Taxon das Totholz deshalb aufsucht, weil es an sickerfeuchten Stellen im Eukrenal mit feinem Detritus und Sediment behaftet ist und es am Xylal ein Mikrohabitat findet, dass indirekt ein Ort der Nahrungsaufnahme ist. Auch hier ist die Durchmischung oder besser das Vorhandensein von Grenzflächen (Kontaktflächen) zwischen zwei (und auch mehreren) Substrattypen eine Interpretationsmöglichkeit. Eine weitere mögliche Erklärung könnte sein, dass die Schüsselschnecke das feuchte Totholz als Rückzugs- oder Aufenthaltsort, gewissermaßen als hygrophiles Refugium zum Schutz aufsucht und hier gar kein Nahrungsmikrohabitat vorliegt. Jedenfalls sollte dieses Taxon des Quellumfeldes zur ökologischen Beurteilung des Substrats in Waldquellen entsprechend beachtet werden. Die Interpretation der Mikrohabitatfunktion erscheint auch für *Monachoides incarnatus* zunächst nicht einfach, gilt diese terrestrisch-hygrophile Laubschnecke als Zerkleinerer und Holzfresser. Allerdings halten sich Jungtiere dieser Art häufig an krautigen Pflanzen (Rückzugsort) auf (FRANK 2000), was auch die deutliche Substratpräferenz in den untersuchten Quellgewässern auf emersen Makrophyten erklärt. Wichtig sind somit genaue Untersuchungen im Substrat, damit solche Unterschiede gekennzeichnet werden können, zumal damit eine gewisse Besonderheit für Quellgewässer im Wald mit krautiger Vegetation als Mikrohabitat für eigentlich als Bodenstreu-Mollusken geltende Taxa offensichtlich wird.

### ***Amphipoda* und *Isopoda* (Crustacea)**

Die beiden Amphipoda *Gammarus fossarum* und *Gammarus pulex* ernähren sich überwiegend als Zerkleinerer, was die Substratpräferenz im CPOM erklärt. Allerdings sind Bachflohkrebse als omnivor einzustufen (BREHM & MEIJERING 1996), was sich in den Funden der unterschiedlichen Substrattypen ausdrückt. Gammariden sind deshalb als Indikatoren der Substratpräferenz eher nicht geeignet, da Degradationen der Substratauflage nicht angezeigt werden. In dem massenhaften Vorkommen der Gammariden wurden immer wieder Jungtiere nachgewiesen und gesichtet, so dass neben der Funktion der Nahrungsaufnahme die Mikrohabitate auch als Orte der Reproduktion anzusehen sind. Die aus dem Grundwasser einwandernden Amphipoden *Niphargus aquilex* und *Niphargus schellenbergi* gelten als reine Sediment-/Detritusfresser. Die deutliche Präferenz im CPOM lässt sich dahingehend deuten, dass Höhlenflohkrebse aus dem oligotrophen Grundwasser organische Feinpartikel im Falllaubmaterial im Eukrenal finden, um sich in diesem Mikrohabitat zu ernähren. Die terrestrisch-hygrophile Sumpfsassel *Ligidium hypnorum* (*Isopoda*) ist überwiegend ein Zerkleinerer. Als Mikrohabitate feuchter Waldstandorte sind bislang vor allem Falllaub, Totholz und Steine beschrieben. Die häufige Verbreitung in Moospolstern der Quellen lässt sich mit dem Ernährungstyp somit nicht eindeutig erklären. Es ist anzunehmen, dass *Ligidium hypnorum* Moospolster aufsucht, weil die Art einen hohen Bedarf an Feuchtigkeit hat, d.h. das Mikrohabitat als Refugium oder Rückzugsort fungiert. Die Sumpfsassel ist ein gutes Beispiel dafür, dass terrestrische Arten mit Waldquellen als Lebensraum zu assoziieren sind, d.h. bestimmte Mikrohabitate im Quellbereich lebensnotwendig sind. Deshalb sollten solche terrestrischen Arten in die ökologische Beurteilung der Substratpräferenz von Quellgewässern als Ökotone unbedingt einbezogen werden. Eine ähnliche Bedeutung gilt für die beiden *Isopoda* *Oniscus asellus* (Mauerassel) und *Trichoniscus*

sp. (Landassel). Allerdings ist auch für diese beiden Asseln die Interpretation der Mikrohabitatfunktion nicht einfach. *Oniscus asellus* ernährt sich überwiegend als Zerkleinerer, ist aber auch als Holz- und Sediment-/Detritusfresser bekannt. In den untersuchten Quellen ist die deutliche Substratpräferenz des Xylal (Totholz) soweit zu erklären, dass Mauerasseln hier ein komplexes Nahrungsangebot finden. Möglicherweise dient Totholz unmittelbar als Nahrung, bietet darüber hinaus aber Auflagen aus feinpartikulärem organischem Material (FPOM) und feinkörniges mineralisches Substrat. Allerdings benötigen Mauerasseln wie die Sumpfassel entsprechend viel Feuchtigkeit, was die Funktion des Totholzes als Refugialraum nicht ausschließt. Möglicherweise erfüllt das Xylal der Quellgewässer für *Oniscus asellus* eine multiple Mikrohabitatfunktion. Letztendlich zeigt sich auch hierin eine wichtige ökologische Bedeutung von Quellen als Lebensraum für terrestrisch-hygrophile Arten, die unter Berücksichtigung des Ökotoncharakters zu beachten sind. *Trichoniscus* sp. (Landassel) ist ein fast ausschließlicher Zerkleinerer, wobei als Nahrung auch Sediment und Detritus in Frage kommen. Da für diese Gattung der Landasseln keine klare Substratpräferenz festzustellen ist bzw. generell organische Substrate wie Moospolster, Totholz und CPOM besiedelt werden, ist zu vermuten, dass die Substrate zum einen als Nahrungsgrundlage und zum anderen als Refugium fungieren. Eine spezielle Mikrohabitatfunktion ist hieraus nicht zu interpretieren.

### **Plathelminthes (Plattwürmer)**

*Crenobia alpina* (Alpenstrudelwurm) lebt ausschließlich als Räuber. Zum einen ist die Substratpräferenz im CPOM dahingehend zu interpretieren, dass dieses Taxon hier entsprechende Beutetiere (vor allem Gammariden) sucht, zumal das CPOM von vielen Taxa besiedelt wird. Zum anderen ist somit die Bandbreite an Funden in verschiedenen Substrattypen zu erklären. Es ist gut möglich, dass der Alpenstrudelwurm mineralische Substrate wie das Psammopelal und das Mikrolithal als Rückzugsorte aufsucht. Für diese Art ist dann festzustellen, dass mineralische Substrate als Refugium und organische Substrate (vornehmlich CPOM) als Jagdrevier anzusehen sind. Gleichermaßen verhält es sich mit dem exklusiv räuberischen *Polycelis felina*. Es ist daher festzustellen, dass beide *Plathelminthes* als Indikatoren der Substratpräferenz eher als ungeeignet einzustufen sind.

### **Opiliones (Weberknechte)**

Die Weberknechte *Leiobunum blackwalli*, *Oligolophus tridens* und *Paranemastoma quatripunctatum* sind ausnahmslos Räuber. Zunächst liegt es aufgrund der Ernährungsweise nahe, entsprechend festgestellte Mikrohabitate (emerse Makrophyten, Totholz) im Quellbereich als Orte der Nahrungsaufnahme bzw. Jagdreviere zu vermuten. Zumal krautige Pflanzen und das Xylal als Mikrohabitate feuchter Waldstellen bekannt sind (AUSOBSKY 1987). Allerdings sollte ein Umstand ebenfalls Berücksichtigung finden: Für *Oligolophus tridens* ist bekannt, dass Bodenfrost zu einer erheblichen Bewegungseinschränkung führt und diese Art in Fängen der Frostperiode von Waldbodenkartierungen in der Abundanz stark abnimmt (MARX & SCHÖNHOFER 2005). Da Quellen, vor allem Sickerquellen und deren oft weiträumig diffus verteilte nass-feuchte Bodenoberfläche aufgrund konstanter Wassertemperaturverhältnisse nicht zufrieren, könnten Mikrohabitate der Quellgewässer auch als (Wärme-)Refugien dienen. Diese Möglichkeit müsste jedoch entsprechend untersucht bzw. recherchiert werden, da hier nicht während Frostperioden kartiert wurde. Es wäre jedoch interessant zu erfahren, ob es im Winter eine ähnliche oder anders ausgeprägte Substratpräferenz der *Opiliones* in

Quellbereichen gibt, zudem bestimmte krautige Pflanzen (wie das Milzkraut *Chrysosplenium* sp.) immergrün sind. Auch wenn sich die Funktion(en) der Mikrohabitate für Weberknechte nicht befriedigend klären lässt, so zeigt sich ein wichtiger Forschungsbedarf für diese Tiergruppe, die bislang nicht bzw. kaum für ökologische Untersuchungen an Quellgewässern berücksichtigt wurden.

### **Coleoptera (Käfer)**

Die unterschiedlichen Ernährungstypen der hier nachgewiesenen Taxa *Agabus* sp., *Anacaena* sp. und *Helophorus* sp. bedürfen einer separaten Diskussion. Der aquatische *Agabus* sp. ist fast ausnahmslos räuberisch lebend. Somit sollten vor allem die präferierten organischen Substrattypen als Mikrohabitate anzusehen sein, die diesem carnivoren Schnellschwimmkäfer als Orte zum Auflauern von Beutetieren dienen. Der hygropetrische *Anacaena* sp. hat eine komplexere Ernährungsweise. Er gilt gleichermaßen als Weidegänger und Sediment-/Detritusfresser, aber auch als Zerkleinerer. Somit dienen ihm vor allem die präferierten organischen Substrattypen als Ort der unmittelbaren Nahrungsaufnahme. Damit ist der Wasserkäfergattung *Anacaena* sp. eine durchaus gute Indikatoreignung zuzugestehen, auch wenn Totholz und CPOM fast gleichermaßen bevorzugt werden. Für den aquatischen *Helophorus* sp. ist eine Gewichtung der Ernährungsweise nicht bekannt bzw. nicht möglich. Ansonsten ist dieser Wasserkäfer wie *Anacaena* sp. einzustufen, d.h. als Weidegänger, Sediment-/Detritusfresser und Zerkleinerer bekannt, wobei eine Indikatoreignung zur Substratpräferenz nach dem jetzigen Stand nur allgemein für organische Substrattypen zu erwarten ist.

### **Plecoptera (Steinfliegen)**

Die Substratpräferenzen der Steinfliegengattungen *Leuctra* sp., *Nemoura* sp. und *Protonemura* sp. sind anhand der Gewichtung der Ernährungstypen erklärbar. Die Larven von *Leuctra* sp. sind gleichermaßen Zerkleinerer und Sediment-/Detritusfresser sowie als Weidegänger bekannt. Die Mikrohabitate sind unmittelbar Nahrungsgrundlage. Außerdem erklärt sich die ähnliche Substratpräferenz des Psammopelals als mineralisches Substrat und dem CPOM als organisches Substrat. Allerdings bestätigt sich hierin die Schwierigkeit, dieses Taxon als geeigneten Indikator der Substratpräferenz einzustufen. Es ist keine spezifische Substratpräferenz für einen Substrattyp festzustellen. *Leuctra* sp. eignet sich lediglich zur Kennzeichnung aggregierter Substrattypen wie mineralisches Feinmaterial und organisches Material. *Nemoura* sp. ist eher ein Zerkleinerer, jedoch auch als Sediment-/Detritusfresser bekannt. Innerhalb der Gewichtung der Ernährungstypenäquivalenzwerte ist die Ernährungsweise als Weidegänger unklar. Die für die hier untersuchten Quellen festgestellte Substratpräferenz des CPOM ist jedoch gut mit der Ernährungsweise als Zerkleinerer und ggf. als Weidegänger zu erklären. Die Substrattypen sind Mikrohabitate die direkt der Nahrungsaufnahme dienen. Damit ist *Nemoura* sp. als guter Indikator zur Substratpräferenz (für das CPOM) in Quellgewässern einzustufen. Die Larven von *Protonemura* sp. leben überwiegend als Zerkleinerer. Die Interpretation der Funktion des Mikrohabitats beim präferierten Substrattyp Totholz (Xylal) ist zunächst nicht eindeutig. Da jedoch auch Ernährungsweisen als Sediment-/detritusfresser und Weidegänger bekannt sind, ist eher von einem indirekten Ort der Nahrungsaufnahme auszugehen.

### **Trichoptera (Köcherfliegen)**

Die hygropetrische Quell-Köcherfliege *Crunoecia irrorata* hat eine vielfältige Ernährungsweise, gilt aber überwiegend als Holzfresser. Eine spezifische Präferenz



zum Xylal (Totholz) ist jedoch nicht festzustellen. Zwar wird die zweithöchste Stetigkeit in diesem Substrattyp erreicht, doch eine Bevorzugung des CPOM ist deutlicher ausgeprägt. Allerdings ist für die Larven auch die Ernährung als Zerkleinerer und Räuber bekannt. Das heißt, die Mikrohabitatfunktion als unmittelbarer Ort der Nahrungsaufnahme ist für das CPOM gegeben, aber nicht eindeutig. Denn es ist auch denkbar, dass die Larven das mit zahlreichen anderen Tieren besiedelte CPOM als Ort zur Predation von Beutetieren aufsuchen. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass *Crunoecia irrorata* in den hier untersuchten Quellen eine Substratpräferenz im grobpartikulären organischen Material (CPOM) hat und das Mikrohabitat vorwiegend zur Nahrungsaufnahme fungiert. Eine entsprechend gute Indikatoreignung für das CPOM bzw. für organische Substrate wird als gegeben eingeschätzt. *Sericostoma* sp. lebt als ausgesprochener Zerkleinerer, wobei die Ernährungsweise als Weidegänger, Sediment-/Detritusfresser und Räuber eine untergeordnete Bedeutung hat. Die Substratpräferenz zum Mikrolithal ist möglicherweise nicht als Ort zur Nahrungsaufnahme anzusehen. Als Mikrohabitat fungiert das mineralische Grobmaterial eher als Rückzugsort bzw. als Ort, wo das Material für den Köcherbau bezogen wird. Da die zweithöchste Stetigkeit jedoch im CPOM festzustellen ist, wird das organische Substrat als Ort der Nahrungsaufnahme angenommen. Auch wenn das CPOM hinsichtlich der Stetigkeit als „selten“ klassifiziert ist, besteht zumindest qualitativ eine nicht eindeutig spezifische Substratpräferenz, die sich aufgrund der Ernährungstypisierung bestätigen lässt. Von einer guten Indikatoreignung zur Substratpräferenz ist demnach eher Abstand zu nehmen, d.h. *Sericostoma* sp. ist als Indikator einer spezifischen Substratpräferenz ungeeignet. Allerdings ist eine Kennzeichnung der Substratpräferenz für grobkörnig-mineralische Substrate hinsichtlich aggregierter Substrattypen möglich, so dass *Sericostoma* sp. zumindest hierfür als Indikator geeignet ist.

### **Chilopoda (Hundertfüßer)**

*Lithobius* sp. ist ein Räuber, dessen Beziehung zum Substrat RONDE (1957) als „nur mittelbar“ bezeichnet und auf den Einfluss von Standortfaktoren hinweist, welche für die Beutetiere von größerer Bedeutung sind. Das bedeutet, Predatoren sind in diesem Sinne nur insofern gute Indikatoren der Substratpräferenz, soweit ihre Nahrung (Beutetiere) eine spezifische Präferenz zu bestimmten Substrattypen aufweisen. Da für die wenigen Einzelfunde des Tausendfüßers *Lithobius* sp. keine robuste und eindeutige Substratpräferenz festzustellen ist, kann hier nur davon ausgegangen werden, dass dieses Taxon ein Beutespektrum besitzt, das keine spezifische Substratpräferenz in Quellgewässern aufweist. Da zu vermuten ist, dass *Lithobius* sp. unterschiedliche Mikrohabitate im Eukrenal als Jagdrevier nutzt, ist die Indikatorqualität zur Kennzeichnung einer Substratpräferenz als ungeeignet einzustufen. Die terrestrisch-hygrophile Myriapodengattung *Polydesmus* sp. gilt als ausgesprochener Zerkleinerer sowie Holzfresser. Auch wenn nur geringe Einzelfunde nachzuweisen sind, ist zumindest anzunehmen, dass die Substratpräferenz zu organischen Materialien wie Totholz und CPOM entsprechend als Mikrohabitate zur unmittelbaren Nahrungsaufnahme fungieren. Allerdings müssen dies weitere Untersuchungen überprüfen.

### **Sonstige Taxa**

Die Binsenschmuckzikade *Cicadella viridis* ist ein reiner Zellstecher, so dass emerse Makrophyten als Mikrohabitat zur Nahrungsaufnahme dienen und trotz der wenigen Einzelfunde auf eine gute Indikatoreignung zur Substratpräferenz zu schließen ist. Weitere Ergebnisse aus Untersuchungen wären hilfreich für die Einschätzung dieser

These. Die Larven von *Cordulegaster bidentatus* leben räuberisch. Es ist anzunehmen, dass zumindest das mineralische Bodensubstrat der Gewässersohle im Eukrenal als Rückzugs- und Ort der Nahrungsaufnahme fungiert. Die hygropetrischen Larven von *Dixa* sp. sind überwiegend Filtrierer, wobei auch die Ernährungsweise als Sediment-/Detritusfresser bekannt ist. Da sich feinpartikuläres organisches Material (FPOM) auf Falllaub befinden kann, ist das CPOM als Mikrohabitat der Nahrungsaufnahme zu interpretieren. Dies steht somit nicht im Widerspruch zum Ernährungstyp und erklärt das CPOM als selten beschriebenes Mikrohabitat zur Nahrungsaufnahme, zumindest im Eukrenal, wo sich dieses strömungsmeidende Taxon behaupten kann (vgl. BREHM & MEIJERING 1996). Somit ist die Tastermücke *Dixa* sp. auch als guter Indikator zur Substratpräferenz in Quellen einzustufen. Der Ufer-Regenwurm *Eiseniella tetraedra* ist ein reiner Sediment-/Detritusfresser, der sich in Quellen offensichtlich Totholz und grobpartikuläres organisches Material (CPOM) als Mikrohabitat zur Nahrungsaufnahme aufsucht. Auch wenn für *Eiseniella tetraedra* kein einzelner Substrattyp als Präferenz zu kennzeichnen ist, so ist der Ufer-Regenwurm durchaus als geeigneter Indikator für organische Substrattypen anzusehen. Die Larven der Eintagsfliege von *Habroleptoides confusa* gelten als überwiegende Weidegänger, aber auch als Sediment-/Detritusfresser. Entsprechender Detritus bzw. feinpartikuläres organisches Material findet sich auf den Oberflächen des Falllaubs, so dass das CPOM indirekt als Ort der Nahrungsaufnahme dienen könnte. In wie weit die mineralischen Substrattypen als Rückzugsort dienen, kann nicht geklärt werden, da die geringe Anzahl von Einzelfunden keine verlässliche Interpretation erlaubt. *Ixodes* sp. (Zecken) lebt ausschließlich als Parasit und ist als Zufallsgast im Mikrohabitat (Moospolster) zu verstehen. Für die räuberische Pseudoskorpiongattung *Neobisium* sp. kann nicht ausreichend geklärt werden, ob Mikrohabitate im Quellbereich gezielt aufgesucht werden, wenn es sich hierbei um Feuchtigkeits-Refugien handelt. Hierzu ist die Bestimmung auf Artniveau erforderlich. Da keine Larven, sondern Fluginsekten der räuberisch lebenden *Pedicia rivosa* nachgewiesen wurden, ist eine Interpretation der Funktion des Mikrohabitats anhand des Ernährungstyps aufgrund der nicht gegebenen Ortsbindung durch die Lebensform wenig sinnvoll, auch wenn Funde von Imagines dieser Art an Quellen bekannt sind. Der Bachläufer *Velia* sp. ist ein ausschließlicher Räuber. Da dieses Taxon größtenteils die Wasseroberfläche zur Nahrungsaufnahme nutzt, sind Funde im Substrat weitestgehend als Rückzugsort zu interpretieren. Allerdings ist aufgrund der angedeuteten gering ausgeprägten Substratpräferenz zu vermuten, dass die Wahl eines spezifischen Mikrohabitats keine Relevanz hat und sich *Velia* sp. als Indikator zur Substratpräferenz nicht eignet.

Tab. K6-2 fasst mögliche Funktionen der Mikrohabitate für die nachgewiesenen Gattungen und Arten in einem Überblick zusammen. Als Quintessenz der Diskussion der Substratpräferenz (Frage 1) und zur Funktion von Substrattypen als Mikrohabitate (Frage 2) soll in Tab. K6-3 eine Zusammenfassung der letztendlich einzustufenden Indikatoreignung zur Substratpräferenz der Gattungen und Arten gegeben werden.



Taxon	Nahrungsaufnahme		Rückzugsort / Refugium	Reproduktion / "Kinderstube"	Zufallsgast	Andere	
	direkt	indirekt					Welche
<i>Agabus sp.</i>		x					
<i>Anacaena sp.</i>	x						
<i>Arrenurus fontinalis</i>		(x)				x	Wirtssuche
<i>Bezzia sp.</i>	x			x			
<i>Bythinella compressa</i>	x	(x)					
<i>Bythinella dunkeri</i>		x					
<i>Carychium sp.</i>	x						
<i>Carychium tridentatum</i>	x						
<i>Cicadella viridis</i>	x						
<i>Cordulegaster bidentatus</i>		x	x	x			
<i>Crenobia alpina</i>		x					
<i>Crunoecia irrorata</i>	x	(x)		x			
<i>Discus rotundatus</i>		x					
<i>Dixa sp.</i>		x		x			
<i>Eiseniella tetraedra</i>		x					
<i>Euconulus fulvus</i>	x						
<i>Euconulus sp.</i>	x						
<i>Galba truncatula</i>	x						
<i>Gammarus fossarum</i>	x	(x)		x			
<i>Gammarus pulex</i>	x	(x)		x			
<i>Habroleptoides confusa</i>		x	(x)	x			
<i>Helophorus sp.</i>	x						
<i>Hydrovolzia placophora</i>		x				(x)	Wirtssuche
<i>Hygrobatas norvegicus</i>		x				(x)	Wirtssuche
<i>Ixodes sp.</i>					x	x	Wirtssuche
<i>Leiobunum blackwalli</i>		x					
<i>Leuctra sp.</i>	x			x			
<i>Ligidium hypnorum</i>			x				
<i>Lithobius sp.</i>		x					
<i>Lobohalacarus weberi</i>							unklar
<i>Monachoides incarnatus</i>			(x)				
<i>Nemoura sp.</i>	x			x			
<i>Neobisium sp.</i>		(x)	(x)		(x)		
<i>Niphargus aquilex</i>		x					
<i>Niphargus schellenbergi</i>		x					
<i>Oligolophus tridens</i>		x	(x)				
<i>Oniscus asellus</i>	x	(x)					
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i>		x					
<i>Partunina steinmanni</i>		x				(x)	Wirtssuche
<i>Pedicia rivosalpinx</i>							unklar
<i>Pisidium sp.</i>		x	x				
<i>Polycelis felina</i>		x					
<i>Polydesmus sp.</i>	(x)						
<i>Protonemura sp.</i>	x			x			
<i>Protzia squamosa squamosa</i>		x				(x)	Wirtssuche
<i>Sericostoma sp.</i>	x		x	x			
<i>Soldanellonyx chappuisi</i>							unklar
<i>Soldanellonyx monardi</i>							unklar
<i>Sperchon sp.</i>		x				(x)	Wirtssuche
<i>Trichoniscus sp.</i>	x	(x)	(x)				
<i>Velia sp.</i>			x				

Tab. K6-2: Übersicht zu den Funktionen der Mikrohabitate nach Gattung und Art. Abkürzungen: „x“ = klar, „(x)“ = möglich

Taxon	Indikatoreignung	Zeiger für Substrattyp	Zeiger allgemein	Bemerkung
<i>Agabus</i> sp.	(-)			wenig Einzelfunde, trotz CPOM-Präferenz als Räuber zu unspezifisch
<i>Anacaena</i> sp.	+	CPOM, Xylal	organische Substrattypen	
<i>Arenurus fontinalis</i>	(+)	CPOM	organische Substrattypen	wenig Einzelfunde
<i>Bezzia</i> sp.	++	Psammopelal	Mineralisches Feinmaterial	
<i>Bythinella compressa</i>	-			trotz Psammopelal-Präferenz zu unspezifisch, Endemit?
<i>Bythinella dunkeri</i>	+	(CPOM)	organische Substrattypen	lediglich als Indikator für organische Substrate geeignet, da zu unspezifisch
<i>Carychium</i> sp.	+	CPOM	keine Zuordnung möglich	
<i>Carychium tridentatum</i>	+	CPOM	keine Zuordnung möglich	
<i>Cicadella viridis</i>	(++)	emerse Makrophyten	organische Substrattypen	wenig Einzelfunde
<i>Cordulegaster bidentatus</i>	(+)	(Mikrolithal)	Mineralisches Substrattypen	wenig Einzelfunde, lediglich als Indikator für mineralische Substrattypen zu diskutieren
<i>Crenobia alpina</i>	-			trotz CPOM-Präferenz als Räuber zu unspezifisch
<i>Crunoecia irrorata</i>	+	CPOM, (Xylal)	organische Substrattypen	
<i>Discus rotundatus</i>	+	Xylal	organische Substrattypen	
<i>Dixa</i> sp.	+	CPOM	organische Substrattypen	
<i>Eiseniella tetraedra</i>	+	Xylal, CPOM	organische Substrattypen	eher nur als geeigneter Indikator für organische Substrate anzusehen
<i>Euconulus fulvus</i>	(++)	CPOM	organische Substrattypen	wenig Einzelfunde
<i>Euconulus</i> sp.	+	CPOM, Xylal	organische Substrattypen	eher nur als geeigneter Indikator für organische Substrate anzusehen
<i>Galba truncatula</i>	+	CPOM	organische Substrattypen	
<i>Gammarus fossarum</i>	-			
<i>Gammarus pulex</i>	-			
<i>Habroleptoides confusa</i>	(++)	CPOM	organische Substrattypen	wenig Einzelfunde
<i>Helophorus</i> sp.	-			lediglich guter Indikator für organische Substrate
<i>Hydrovulzia placophora</i>	(+)	Psammopelal	Mineralisches Feinmaterial	wenig Einzelfunde
<i>Hygrobatas norvegicus</i>	(+)	Psammopelal	Mineralisches Feinmaterial	wenig Einzelfunde
<i>Ixodes</i> sp.	-			Zufallsgast
<i>Leiodunum blackwalli</i>	(+)	emerse Makrophyten	organische Substrattypen	wenig Einzelfunde
<i>Leuctra</i> sp.	-		keine Zuordnung möglich	lediglich als Indikator für mineralische Feinsubstrate zu diskutieren
<i>Ligidium hypnorum</i>	++	Moospolster	organische Substrattypen	
<i>Lithobius</i> sp.	(-)			wenig Einzelfunde, als Räuber nur geeignet wenn Beutetiere geeignete Indikatoren sind
<i>Lobohalacarus weberi</i>	?		Mineralisches Feinmaterial	
<i>Monachoides incarnatus</i>	++	emerse Makrophyten	organische Substrattypen	
<i>Nemoura</i> sp.	+	CPOM	organische Substrattypen	
<i>Neobisium</i> sp.	-			Artbestimmung zur Indikatoreignung notwendig, wenig Einzelfunde
<i>Niphargus aquilex</i>	+	CPOM	organische Substrattypen	
<i>Niphargus schellenbergi</i>	+	CPOM	organische Substrattypen	
<i>Oligolophus tridens</i>	(+)	emerse Makrophyten	organische Substrattypen	wenig Einzelfunde
<i>Oniscus asellus</i>	(++)	Xylal	organische Substrattypen	wenig Einzelfunde
<i>Paranemastoma quadripunctatum</i>	(+)	Xylal	organische Substrattypen	wenig Einzelfunde
<i>Partunia steinmanni</i>	(-)		keine Zuordnung möglich	wenig Einzelfunde
<i>Pedicia rivosia</i> Imagines	?			
<i>Pisidium</i> sp.	+	Psammopelal	Mineralisches Feinmaterial	auch CPOM
<i>Polycelis felina</i>	-			
<i>Polydesmus</i> sp.	(+)	Xylal	organische Substrattypen	wenig Einzelfunde
<i>Protonemura</i> sp.	+	Xylal	organische Substrattypen	
<i>Protzia squamosa squamosa</i>	(+)	CPOM		wenig Einzelfunde
<i>Sericostoma</i> sp.	+	(Mikrolithal)	Mineralisches Grobmaterial	lediglich als Indikator für mineralische Grobsubstrate, da zu unspezifisch
<i>Soldanellonyx chappuisi</i>	?		Mineralisches Feinmaterial	
<i>Soldanellonyx monardi</i>	?		Mineralisches Feinmaterial	
<i>Sperchon</i> sp.	(+)	Psammopelal	Mineralisches Feinmaterial	wenig Einzelfunde
<i>Trichoniscus</i> sp.	-		organische Substrattypen	lediglich als Indikator für organische Substrate zu diskutieren
<i>Velia</i> sp.	-			wenig Einzelfunde, als Räuber zu unspezifische Substratpräferenz

Tab. K6-3: Indikatoreignung zur Substratpräferenz der Gattungen und Arten

#### Legende

 gut als Indikator geeignet  
 gut als Indikator geeignet (unter Vorbehalt)

Der Befund, dass es sich bei Wirbellosen, die Quellgewässer besiedeln, meist um omnivore Organismen handelt (ROBINSON ET AL. 2008) kann hier nur in der Tendenz festgestellt werden. Der Vergleich der einzelnen Teillebensräume des Ökotons weist zumindest soweit Unterschiede auf, dass in den terrestrischen Bereichen die Ernährungsweise der Organismen überwiegend einem Ernährungstyp zuzuordnen ist. Die Tiere im aquatischen Bereich können eher mehreren Ernährungstypen zugeteilt werden, wobei aber häufig eine deutliche Ernährungsweise überwiegt. Dass die ausgewerteten Arten meist omnivore Organismen sind, kann für die untersuchten Waldquellen aber nicht in dieser Deutlichkeit festgestellt werden. Ein Erklärungsansatz könnte die Substratpräferenz der Taxa sein. Steht in oligotrophen Gewässern wie Quellen genügend organisches Substrat zur Verfügung, ist eine speziell ausgerichtete Ernährungsweise für Detritusfresser, Zerkleinerer und Weidegänger günstiger. Entsprechende Räuber und Parasiten finden sich ein, um sich von den Organismen, die unmittelbar vom Substrat als Nahrungsgrundlage leben, zu ernähren. Da auf der einen Seite vor allem pflanzliche Substanzen und auf der anderen Seite tierische Substanzen gefressen werden, ist vielmehr nicht von einer omnivoren Ernährungsweise auszugehen.

### Frage 3

Lässt sich eine faunistische Relevanz substratspezifischer Habitattypen für Quellgewässer feststellen?

Die Kennzeichnung substratspezifischer Habitattypen erfolgt durch Zusammenstellung dominierender organischer und mineralischer Substrattypen zunächst nur strukturell. Die Habitattypen sind eine Ableitung der Substratkartierung, d.h. ein Modell zur Differenzierung des gesamten Eukrenals mit dem Quellumfeld. Eine Validierung erfolgt durch die Analyse der Habitatbindung der Wirbellosenfauna mittels der Stetigkeitswerte einzelner Taxa.

Zunächst ist ein Befund vorangestellt anzusprechen: Die Dominanz der Besiedlung organischer Substrattypen. Da nur Waldquellen untersucht wurden, mag die Feststellung der Ergebnisse plausibel sein, wurde jedoch in der Konzeptionsphase dieser Arbeit deutlich unterschätzt, da organische Substrate nicht immer einen hohen bzw. zum Teil auch einen untergeordneten Deckungsgrad in der Fläche aufweisen. Insbesondere die physiognomische Relevanz der Deckungsgrade mineralischer Substrate führte zu der Annahme, dass diese Substrattypen – ähnlich kleiner und mittelgroßer Fließgewässer – eine höhere Bedeutung in der spezifischen Besiedlung bestimmter Taxa haben. Zudem anhand der naturräumlich differenzierten Auswahl der Untersuchungsgebiete bewusst nach Möglichkeiten gesucht wurde, fein- und grobmaterialreiche mineralische Habitattypen zu untersuchen. Diese Feststellung wird erwähnt, da zur Interpretation der Habitattypenpräferenz, wie sie sich in Tab. K5-41 darstellt, ein weiter aufgegliedertes Besiedlungsmuster erwartet wurde bzw. für die mineralisch dominierten Habitattypen eine deutlichere und spezifischere Besiedlung angenommen wurde. Das wesentliche Problem zur Interpretation einer faunistischen Relevanz ist, dass kein geeignetes Taxon gefunden bzw. gekennzeichnet werden konnte, das als robuster Indikator der Substratpräferenz für grobmaterialreiche Habitattypen herangezogen werden kann. Es ist zwar für einige Taxa (*Cordulegaster bidentatus*, *Sericostoma* sp. sowie *Velia* sp.) zu diskutieren, ob sie als Anzeiger für grobkörnig-mineralische Substrattypen anzuwenden sind, doch ist die Eignung aufgrund geringer Einzelfunde nicht belastbar oder die Präferenz eines bestimmten Substrattyps ist hinsichtlich der Ernährungsweise nicht plausibel zu



begründen. Eine faunistische Relevanz der organisch dominierten Habitattypen ist jedoch gegeben und wird im Folgenden diskutiert.

### **Aggregierte Habitattypen**

Für den **organisch dominierten, feinmaterialreichen Habitattyp ( $O_f$ )** ist anhand bestimmter Taxa bzw. der Stetigkeit der Einzelfunde bestimmter Taxa innerhalb dieses Habitattyps eine faunistische Relevanz festzustellen. Hierfür können zahlreiche Taxa mit hoher Stetigkeit nachgewiesen werden, die als geeignete Indikatoren der Substratpräferenz gekennzeichnet sind. Anhand von Indikatortaxa für feinkörnig-mineralische Substrattypen lässt sich für den Habitattyp  $O_f$  eine faunistische Relevanz differenzieren. Hierzu sind insbesondere die Taxa *Bezzia* sp. und *Pisidium* sp. zu nennen. Unter dem Vorbehalt geringer Einzelfunde lässt sich noch *Hygrobatas norvegicus* ergänzen. Die kennzeichnenden Taxa lassen sich durch die Ergebnisse der SIMPER-Analyse (Tab. K5-42) plausibilisieren. Interessant ist, dass *Pisidium* sp. als einziger Indikator für feinkörnig-mineralische Substrattypen bereits fast 25% der Artzusammensetzung des Habitattyps  $O_f$  erklärt. Der Wasserkäfer *Anacaena* sp. erklärt als Indikator für organische Substrattypen allein 22% der Artkomposition. Mit Ausnahme von *Bythinella compressa*, *Trichoniscus* sp., und *Leuctra* sp., die als ungeeignete Indikatoren einzustufen sind, sind alle weiteren Taxa Indikatoren organischer Substrattypen.

Eine faunistische Relevanz kann auch für den **organisch dominierten, grobmaterialreichen Habitattyp ( $O_g$ )** festgestellt werden. Für die grobkörnig-mineralischen Substrattypen ist nur die Köcherfliege *Sericostoma* sp. als differenzierendes Taxon festzustellen. Ein weiterer mögliches Taxon zur Differenzierung des Habitattyps  $O_g$  wäre *Cordulegaster bidentatus*, das jedoch aufgrund der geringen Anzahl an Einzelfunden unter Vorbehalt steht, jedoch auch keine Präferenz zum Habitattyp  $O_g$  aufweist. Die Bedeutung von *Sericostoma* sp. zeigt sich bei Betrachtung der Ergebnisse der SIMPER-Analyse. Als einziger Indikator für grobkörnig-mineralische Substrattypen erklärt *Sericostoma* sp. allein bereits 15% der Artzusammensetzung des Habitattyps  $O_g$ . Mit Ausnahme von *Trichoniscus* sp., *Crenobia alpina*, *Leuctra* sp. sind alle weiteren Taxa Indikatoren organischer Substrattypen. Neben *Crunoecia irrorata* ist es wiederum die Gattung *Anacaena* sp. die als Indikator organischer Substrattypen den höchsten Anteil zur Erklärung der Gemeinsamkeit der Artzusammensetzung aufzeigt.

Der als mineralischer Mischtyp ausgewiesene **organisch dominierte, fein- bis grobmaterialreiche Habitattyp ( $O_{f-g}$ )** hat ebenfalls eine faunistische Relevanz. Auch hier erweist sich *Anacaena* sp. als bedeutender Zeiger organischer Substrattypen (SIMPER-Analyse). *Sericostoma* sp. als Indikator grobkörnig-mineralischer Substrattypen und *Pisidium* sp. als Indikator feinkörnig-mineralischer Substrattypen sind mit einem bedeutenden Anteil zur Erklärung der Gemeinsamkeit innerhalb der Artzusammensetzung festzustellen. Der Habitattyp  $O_{f-g}$  weist jedoch weniger Taxa als Indikatoren organischer Substrattypen auf. Zudem sind Taxa festzustellen, die aufgrund einer geringen Einzelfund-Anzahl als geeignete Indikatoren der Substratpräferenz für organische Substrattypen unter Vorbehalt stehen. Ob es sich in gewisser Weise um differenzierende Taxa zur Kennzeichnung dieses Habitattyps handelt, kann nicht geklärt werden. Darin zeigt sich allerdings die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen zur faunistischen Relevanz dieses Habitattyps.

Ein faunistische Relevanz der **mineralisch dominierten Habitattypen ( $M_f$ ,  $M_g$ ,  $M_{f-g}$ )** und der **organisch und mineralisch dominierten Habitattypen ( $OM_f$  und  $O/M_g$ )** sind nicht festzustellen. Der Hauptgrund ist, dass die mineralisch dominierten Habitattypen und die Mischtypen gegenüber den organisch dominierten Habitattypen

deutlich unterrepräsentiert sind. Die organisch dominierten Habitattypen haben zusammengenommen einen relativen Anteil von 74%, wenn man alle 152 Quellen auswertet sowie einen Anteil von 81%, wenn nur die naturnahen, nicht verbauten Quellen berücksichtigt werden. Die mineralisch dominierten Habitattypen haben insgesamt einen relativen Anteil von 11%, unabhängig davon ob die Gesamtzahl der untersuchten Quellen oder lediglich die nicht verbauten Quellen herangezogen werden. Die Mischtypen haben einen relativen Anteil von 7% aller Quellen und einen Anteil von 8% der unverbauten Quellen.

Obwohl die Anzahl der Habitattypen der mineralisch dominierten Habitattypen offensichtlich unterhalb eines nicht bekannten Schwellenwertes der Repräsentanz zur Kennzeichnung einer faunistischen Relevanz liegt, sind mittels der SIMPER-Analyse zumindest Ansätze erkennbar. Für den **mineralisch dominierten, feinmaterialreichen Habitattyp (M<sub>f</sub>)** ist mit *Pisidium* sp. ein Indikator für feinkörnig-mineralische Substrattypen vertreten. Für den **mineralisch dominierten, grobmaterialreichen Habitattyp (M<sub>g</sub>)** ist *Sericostoma* sp. als Indikator grobkörnig-mineralischer Substrattypen zu nennen. Allerdings werden die Befunde insgesamt so interpretiert, dass für mineralische Substrattypen zur Klassifikation mineralisch dominierter Habitattypen faunistisch keine Relevanz festzustellen ist. Jedoch sind mineralische Substrattypen ein wesentliches Kriterium zur Differenzierung organisch dominierter Habitattypen, was durch eine unterschiedliche Besiedlung, die faunistisch relevant ist, gekennzeichnet werden kann.

### Detaillierte Habitattypen

Die als repräsentativ ausgewählten fünf detaillierten Habitattypen (vgl. Tab. K5-47) zeigen eine jeweils typische Besiedlung, die eine faunistische Relevanz erkennen lässt. Es können entsprechende Indikatoren der Substratpräferenz nachgewiesen werden.

Der **CPOM dominierte, psammopelalreiche Habitattyp** lässt sich anhand zahlreicher und hoch steter Taxa für den Substrattyp CPOM und Psammopelal mit entsprechend faunistischer Relevanz bestätigen. Vor allem *Pisidium* sp. (Psammopelal) und *Anacaena* sp. (CPOM) kommen in diesem Habitattyp häufig vor. *Bezzia* sp. ist als weiterer Indikator für das Psammopelal verbreitet. Sechs selten auftretende Taxa haben ihr exklusives Vorkommen in diesem Habitattyp, darunter die detritivore Steinfliege *Amphinemura* sp., die BREHM & MEIJERING (1996) als Psammopelal-Besiedler ausweist. Wenige stete Taxa, die aber eine höhere Einzelfund-Anzahl aufzuweisen, deuten auf andere Substrattypen, die in diesem Habitattyp vorkommen können, wie z.B. Moospolster (*Ligidium hypnorum*) oder Totholz (*Discus rotundatus*). Diese Taxa können als Anzeiger der Struktur- bzw. Substratvielfalt der Waldquellen dieses Habitattyps angesehen werden. Dafür spricht auch die hohe Anzahl der Taxa (Gattung, Art) die für den CPOM dominierten, psammopelalreichen Habitattyp nachzuweisen sind.

Eine ähnliche faunistische Relevanz kann auch für den **CPOM dominierten, mikrolithalreichen Habitattyp** festgestellt werden. Hier sind die CPOM-Indikatoren *Anacaena* sp. und *Crunoecia irrorata* sehr häufig vorkommend. *Sericostoma* sp. (Mikrolithal) ist ebenfalls häufig und als alleiniger Indikator dieses grobkörnig-mineralischen Substrattyps anwesend. Die höchste Stetigkeit des Höhlenflohkrebses *Niphargus schellenbergi* in diesem Habitattyp ist zum einen mit der CPOM-Präferenz dieses Taxons zu erklären, zeigt aber auch die Relevanz grobkörnig-mineralischer Substrattypen, wie sie sich aus der Analyse der Substratpräferenz der untersuchten Quellen ergibt. Der selten und nur in diesem Habitattyp vorkommende Strudelwurm *Dugesia gonocephala* besiedelt vornehmlich Steine (SCHMEDTJE & COLLING 1996),

was für den Anteil grobkörnig-mineralischer Substrate innerhalb des CPOM dominierten, mikrolithalreichen Habitattyps sprechen könnte. Die etwas niedrigere Anzahl festgestellter Taxa ist mit der geringen Dominanz des Mikrolithals bzw. grobmaterialreicher Habitate an der Gesamtzahl der untersuchten Quellen zu interpretieren.

Die höchste Anzahl an Taxa ist für den **Makrophyten dominierten, psammopelalreichen Habitattyp** festzustellen. Für diesen Habitattyp kann ebenfalls eine faunistische Relevanz nachgewiesen werden. Hier erweist sich *Monachoides incarnatus* (Rötliche Laubschnecke) als geeigneter Indikator für emerse Makrophyten, die in diesen Habitattyp ihre zweithöchste Stetigkeit erreicht. *Pisidium* sp. als Psammopelal-Indikator ist hier ebenfalls mit der höchsten Stetigkeit nachzuweisen. Die wenigen Einzelfunde der Weberknechte (*Leibunum blackwalli*, *Mitopus morio* und *Nemastoma lugubre*) und Webspinnen (*Tetragnatha* sp.) haben in dem Makrophyten dominierten, psammopelalreichen Habitattyp ihr exklusives Vorkommen, ebenso wie zahlreiche Süßwassermilben, die bevorzugt im Psammopelal siedeln. Auch dieser Habitattyp ist für strukturreiche Waldquellen mit einer Vielzahl weiterer vorkommender organischer Substrattypen häufig, so dass Taxa entsprechende Substratpräferenzen kennzeichnen.

Die Eignung von *Monachoides incarnatus* als Indikator für emerse Makrophyten zeigt sich auch in der gegebenen faunistischen Relevanz des **Makrophyten dominierten, mikrolithalreichen Habitattyps**. *Sericostoma* sp. (Mikrolithal) ist hier mit der höchsten Stetigkeit festzustellen, was auch für *Dixa* sp. gilt, wobei dieses Taxon als CPOM-Indikator anzusehen ist, aber auch ein bedeutendes zusammengekommenes Vorkommen in grobkörnig-mineralischen Substrattypen aufweist. Die unter dem Vorbehalt geringer Einzelfunde als möglicherweise geeigneter Indikator für emerse Makrophyten einzustufende *Cicadella viridis* ist nur in den beiden Makrophyten dominierten Habitattypen nachzuweisen. Für die hier selten gefundenen Süßwassermilben wie *Lebertia sefvei* ist die Bevorzugung makrophytenreicher Habitate beschrieben (GERECKE ET AL. 2005), so dass der exklusive Fund in diesem Habitattyp plausibel erscheint und zusätzlich für die faunistische Relevanz spricht.

Für den **Psammopelal dominierten Habitattyp** ist der Nachweis einer faunistischen Relevanz nicht eindeutig. Hier bestätigt sich offensichtlich die Annahme, dass für die mineralisch dominierten Habitattypen als aggregierte Typen keine faunistische Relevanz nachzuweisen ist. Zwar kann *Pisidium* sp. mit entsprechend hoher Stetigkeit nachgewiesen werden, doch weitere Psammopelal-Indikatoren sind nicht festzustellen. Auch Anzeiger, die unter Vorbehalt als geeignete Indikatoren interpretiert werden, sind nicht nachzuweisen. Offenbar reichen bereits geringe Deckungsgrade organischer Substrate aus, um eine entsprechende Fauna nachzuweisen. Eine Feststellung der faunistischen Relevanz rein mineralisch dominierter Habitattypen ist für Waldquellen nicht möglich.

Insgesamt erweisen sich die meisten als Indikatoren der Substratpräferenz eingestuft Taxa als geeignet zur Kennzeichnung der Habitattypen für Mittelgebirgs-Waldquellen. Taxa, die eher keinen spezifischen Substrattyp zuzuordnen sind bzw. mehrere Substrattypen auch mit geringerer Stetigkeit besiedeln, eignen sich zur differenzierten Interpretation der faunistischen Relevanz der Habitattypen. Wenige Taxa, die insbesondere eine geringe Anzahl von Einzelfunden aufweisen und als mögliche Indikatoren zu diskutieren sind, zeigen keine besondere Präferenz für einen Habitattyp.

### 6.3 Diskussion des Untersuchungsansatzes und der Methodik

Die Diskussion des Untersuchungsansatzes und der Methodik konzentriert sich auf den Ansatz, den Ökotoncharakter im Eukrenal zu berücksichtigen, insbesondere dass die terrestrische Fauna in der Fauna-Aufnahme beachtet wird sowie das Multihabitat-Sampling als Erfassungsmethode für Quellgewässer. Es werden Vor- und Nachteile diskutiert, soweit sie aus der Anwendung und Interpretation der Ergebnisse erkennbar werden konnten.

#### Berücksichtigung des Ökotoncharakters

Der hier besprochene Ökotoncharakter bezieht sich methodisch auf die Berücksichtigung von Grenzlebensräumen im Übergang vom aquatischen über den amphibischen (semi-aquatischen) hin zum terrestrischen Quellbereich. Eine wesentliche Schwierigkeit der Erfassung von Quellgewässern als Ökoton besteht in der räumlichen Abgrenzung, d.h. in der feldmethodischen Festlegung des Untersuchungsareals. Die Bestimmung des aquatischen Bereichs im Gelände ist insofern einfach, als das der vom Wasser benetzte Bereich in einer Quelle physiognomisch meist gut sicht- und abgrenzbar ist. Die Einbeziehung semi-terrestrischer Bereiche ist gut möglich, soweit bodenfeuchte Areale in Zwischen- und Randbereichen der Quelle (vor allem Sickerquellen; Helokrene) zu erkennen sind. Die Festlegung des terrestrischen Randbereichs ist dagegen problematisch, da eine scharfe Abgrenzung des terrestrisch-hygrophilen Faunabereichs nicht möglich erscheint (FISCHER ET AL. 1998). Entsprechende Hinweise sind in der Literatur nicht zu finden. Möglichkeiten der Abgrenzung bestehen in zweierlei Hinsicht. Zum einen kann bei entsprechend ausgebildeter Geländemorphologie die Ausprägung der Quellmulde insofern hilfreich sein, als das eine Art „Uferbereich“ bzw. Böschung als terrestrisch-hygrophiler Übergangsbereich festzulegen ist. Zum anderen ist meist das Falllaub (Streuauflage) oder der Oberboden (bei fehlender Streu) bereits deutlich trockener als die semi-aquatischen Bereiche. Eine Abgrenzung zum Areal der Fauna liminaria ist räumlich-physiognomisch in einer Kartierung faktisch nicht möglich und letztendlich nur über unterschiedliche Besiedlungsmuster (Artzusammensetzung) erkennbar, zumindest wenn Falllaub vorhanden ist (FISCHER ET AL. 1998). Ein weiterer Nachteil ist in dem höheren Zeit- und Materialaufwand der Kartierung und Beprobung der Fauna zu sehen, da neben dem aquatischen Bereich andere Lebensbereiche des Grenzsaumes untersucht werden müssen. Die anschließende Vorsortierung und Determination im Labor ist entsprechend aufwendig und erfordert neben der taxonomischen Kenntnis der aquatischen Fauna, zumindest eine allgemeine Kenntnis der Landfauna.

Der Untersuchungsansatz, ein Gewässer nicht nur als Wasserkörper, sondern viel mehr als ein mit dem terrestrischen Umfeld vernetztes Ökosystem zu verstehen, hat auch bedeutende Vorteile. Die Ergebnisse zeigen im Ansatz, dass Quellen auch für terrestrische Taxa als Lebensraum von Bedeutung sind. Die Schutzwürdigkeit von Quellgewässern sollte nicht ausschließlich mit der naturschutzfachlichen Begründung erfolgen, dass vor allem aquatische Quellspezialisten hier einen exklusiven Lebensraum benötigen, sondern auch Lebewesen aus dem Umfeld (z.B. Bodenarthropoden oder hygrophile Waldarten der Wirbellosenfauna) eine notwendige Affinität zu Quellen als „Feuchte-Inseln“ brauchen. Außerdem deuten bestimmte terrestrische Taxa einen Zusammenhang zu anderen Lichtregionen subterranean Lebensräume an. Somit könnte der hier verfolgte Untersuchungsansatz für die biospeläologische Forschung von Interesse sein, wenn es um das Verständnis geht, welche Taxa der Landfauna offensichtlich „Grenzgänger“ von unterirdischen



und oberirdischen hygrophilen Lebensräumen sind. Ein weiterer Vorteil den terrestrischen Nahbereich in die Untersuchung einzubeziehen, besteht darin, dass eine weiterreichende faunistische Kennzeichnung der Quellgewässer möglich erscheint. Mit einer weiterreichenden Artbestimmung könnten somit faunistisch relevante gewässertypologische Differenzierungen möglich werden. Außerdem wird der strukturelle Einfluss des Umfeldes darstellbar, d.h. durch die spezielle Besiedlung von Substrattypen wie Totholz, Streu oder krautige Pflanzen des Gewässerumfeldes, ist indirekt auch eine Beurteilung des Waldstandortes erkennbar. Somit ist ein integrativer Ansatz gegeben.

### **Multihabitat-Sampling**

Das Prinzip der Erfassung des Multihabitat-Sampling ist die Probennahme der Fauna proportional zum Deckungsgrad der Substrattypen. Repräsentative Substrattypen haben hohe Deckungsgrade und unterrepräsentierte Substrattypen einen geringen Deckungsgrad in der Fläche, bezogen auf den Quellbereich als Ökoton. Das ursprünglich für Fließgewässer konzipierte Ziel ist eine gewässertypologisch repräsentative Darstellung der Sohlensubstrate und deren Besiedlung. Der Vorteil der Erfassungsmethode ist in der Kopplung der Substratkartierung (Gewässerstruktur) mit der unmittelbaren Bestimmung der Fauna im Substrat (in situ) zu sehen. Eine Lebendbestimmung ist für zahlreiche Wirbellose, vor allem bei nicht einfach zu determinierenden Taxa und für Vertreter der Meiofauna, im Gelände nicht möglich. Damit ist die eigentliche Geländearbeit für Quellgewässer zeitlich auf Substratkartierung, Probennahme und Probenfixierung beschränkt. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass für organische Substrattypen im Eukrenal der Deckungsgrad von geringer Bedeutung ist, d.h. das qualitative Vorkommen des Substrattyps scheint von größerer Bedeutung zu sein als das quantitative Vorkommen. In oligotrophen Quellen sind organische Substrate eine wichtige Nahrungsgrundlage für die Fauna. Insbesondere in Waldquellen werden organische Substrattypen prioritär besiedelt. Für mineralische Substrattypen ist eine geringere Bedeutung als Nahrungsgrundlage anzunehmen, außerdem erfüllen auch organische Substrate eine Schutz- oder Rückzugsfunktion als Mikrohabitat. Sind mineralische Substrate in der Flächendeckung unterrepräsentiert, dann bleibt während der Geländearbeit methodisch zu wenig vorgegebene Zeit, um Individuen zu sichten oder aber der Probenumfang (Feinmaterial) ist zu gering. Zur Feststellung von Besiedlungsspezialisten ist die Beprobung proportional zum Deckungsgrad der Substrate demzufolge ein Nachteil. Aufgrund der häufig individuenarmen Vorkommen der Taxa erscheint eine flächenbezogen gleichberechtigte Erfassung als sinnvoll, damit ausreichend Zeit zur Beprobung der Fauna zur Verfügung steht. Eine dem Substratvorkommen nach Deckungsgraden repräsentative Darstellung der Besiedlung ist dann allerdings nicht mehr gegeben, da somit unterrepräsentierte Substrattypen gegenüber dominierenden Substrattypen in der Analyse gleichgesetzt werden. Als ein weiterer Nachteil kann das Schätzen von Deckungsgraden angesehen werden, denn es setzt Kartierpraxis und Vorwissen (z.B. vegetationskundliche Erfassung) voraus. Eine Einarbeitungszeit für unerfahrene Kartierer ist notwendig. Ein weiterer Nachteil ist, dass im Wesentlichen zwei unterschiedliche Methoden der Fauna-Aufsammlung zum Einsatz kommen, nämlich das Keschern und die Handaufsammlung mit Pinzette. Allerdings wird nur das Feinkörnig-mineralische Substrat gekeschert und unmittelbar fixiert. Alle anderen Substrate werden gekeschert und aufgesammelt oder direkt abgesammelt. Außerdem bietet das Multihabitat-Sampling den Vorteil, dass aufgrund einer standardisierten zeitlichen Erfassung eine Vergleichbarkeit gewährleistet ist und das



Defizit unterschiedlicher Fangmethoden dadurch kompensiert wird. Einen besonderen Vorteil bietet der vorgeschlagene 2-Schicht-Ansatz des Multihabitat-Samplings. Dieser Ansatz ermöglicht eine faunistisch relevante Differenzierung der organischen Habitattypen, die bei Nicht-Berücksichtigung mineralischer Substrate durch überdeckte organische Substrate (während der Substratkartierung) nicht zu kennzeichnen sind.

## 7. Handlungsempfehlungen

Die hier abgeleiteten Handlungsempfehlungen für die forstwirtschaftliche Praxis ergeben sich unmittelbar aus den Ergebnissen dieser Arbeit, soweit Beeinträchtigungen des Quellbereichs als Auswirkungen in der Besiedlung erkennbar sind. Bestehende Handlungsempfehlungen (z.B. im Maßnahmenkatalog des Aktionsprogramms Quellen des Bundeslandes Bayern, HOTZY & RÖMHELD 2008) wurden dahingehend überprüft, in wie weit die darin formulierten Maßnahmenforderungen nach den hier vorliegenden Resultaten plausibel erscheinen. Generell gilt ein Pauschalschutz von Quellgewässern als besonders geschützte Biotope nach dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), d.h. nach §30(2) BNatSchG (2009) sind „Handlungen, die zu einer Zerstörung oder einer sonstigen erheblichen Beeinträchtigung“ führen, zu vermeiden. Allgemeine Ziele für Quellschutzmaßnahmen, d.h. nicht nur Waldquellen, haben REISS & ZAENKER (2007:156) wie folgt formuliert:

- „Die Wasserneubildung im näheren und weiteren Quellumfeld darf nicht eingeschränkt werden, um ein Versiegen der Quelle zu verhindern. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der Erhalt einer intakten Humusschicht, in der Wasser langsam versickern und zu Grundwasser werden kann;
- Die Reinheit des Quellwassers muss erhalten bleiben. Vermieden werden sollten daher Einträge aus der Landwirtschaft in das Grundwasser, Abwassereinleitungen in den Quellbereich, Einträge durch Niederschlags- bzw. Oberflächenwasser aus Drainagen und Gräben;
- An der Quelle sollte eine standortgerechte Vegetation erhalten werden, um eine Erwärmung des Wassers zu verhindern. Dies gilt auch für den Bereich des Quellbaches. Hier sollte beispielsweise durch Entfernung eines dichten Fichtenbestandes an einigen Quellstandorten einer zunehmenden Versauerung des Quellwassers entgegengewirkt werden;
- Eine Nutzung des Quellbereiches als Viehtränke sollte vermieden werden. Durch die Trittschäden kann unter Umständen die gesamte Vegetation zerstört werden. Dies gilt auch für das Umgraben verschiedener Quellbereiche durch Wildschweine;
- Die Quelle muss unter Umständen vor Erholungssuchenden geschützt werden. Dies geschieht dadurch, dass Wanderwege in weitem Abstand um Quellbereiche herumgeführt werden. Auch Picknickplätze sollten nicht im Quellbereich angelegt werden. Eine sinnvolle Maßnahme kann außerdem die Information der Erholungssuchenden (z.B. durch aufgestellte Tafeln) sein, um die Akzeptanz für den Quellschutz zu steigern.
- Quellen sollten von Einfassungen und Quellbauwerken jeglicher Art befreit werden. Hierzu gehören nicht mehr benötigte Sammelbehälter für die Trinkwassergewinnung, traditionelle Einfassungen in Stein (jahrzehntelang von Wander- und Heimatvereinen durchgeführt) sowie Drainagen.

- Das Quellwasser darf weder im Bereich der Quelle noch im Bereich des Quellbaches zu Teichen aufgestaut werden. Dieses würde z.B. den Larven des Feuersalamanders den Lebensraum entziehen.
- Um den Quellschutz zu gewährleisten, müssen unter Umständen Ankauf, Pacht, eine Nutzungseinschränkung im Umfeld oder die Unterschutzstellung der Quelle erwogen werden.“

Im Sinne der Forstwirtschaft lassen sich Quellbereiche den Sonderstandorten zuordnen, die nach den Zielbestimmungen des Naturschutzes im Staats- und Kommunalwald „geduldet und gezielt gefördert werden“ (PLACHTER 1991:113) sollten. Für die Forstwirtschaft können Handlungsempfehlungen wie folgt konkretisiert werden, wobei kurz der naturschutzfachliche Belang begründet wird:

- Fichtenmonokulturen im Quellumfeld vermeiden

Die Nadelstreu der Fichten und anderer Nadelgehölze in einem Reinbestand führt zu einer deutlichen Reduzierung der Substratvielfalt, die sich ebenso in einer Degradation der Artenvielfalt ausdrückt (HERING, REICH & PLACHTER 1993). In dieser Untersuchung wird festgestellt, dass Nadelstreu als Mikrohabitat nur von sehr wenigen Wirbellosenvertretern besiedelt wird. Kommt es fast ausschließlich als alleiniger organischer Substrattyp vor, fehlen zahlreiche Taxa. Meist führt eine einhergehende Versauerung solcher Standorte zu weiteren Problemen in der Ausbildung einer biotoptypischen Biozönose. Der dichte Bestand vermindert auch die Sonneneinstrahlung, so dass typische Vertreter im terrestrisch-hygrophilen Randbereich fehlen, da sich keine krautigen Pflanzen, insbesondere Staudenfluren, ausbilden können. Ähnliche Ergebnisse konnte SCHABER-SCHORR (2007) in der Gewässersohle kleiner Bachoberläufe für das Makrozoobenthos nachweisen, wobei hier bis zu 80% der Arten im Epirhithral ausbleiben.

- Mechanische Beeinträchtigungen durch Rücke- und Waldwege vermeiden

Eine mechanische Belastung von Waldböden durch forstwirtschaftliche Maschinen und Fahrzeuge sollte in einem Mindestradius von 100 Metern um den Quellaustritt vermieden werden. Die Kompaktion durch Fahrspuren führt zu Bodenverdichtungen und zu einer Abnahme des Porenvolumens (HORN 2011, OPP 1999), was wiederum ein ungehindertes Einwandern von Wirbellosen in das Lückensystem verhindert. Außerdem wird durch die verdichteten Fahrspuren die Möglichkeit der Wasserinfiltration aus dem Niederschlag herabgesetzt sowie für ein rascheres Abfließen nicht einsickerndes Oberflächenwasser gesorgt. Auch wird der Standort für Pflanzen beeinträchtigt, insbesondere für krautige Makrophyten der Quellflur.

- Einwirkungen von Wildsuhen nicht durch Kirrungen und Salzlecken fördern

Das Anlocken von Rot- und Damwild durch Auslage von Futter oder Salz sollte an Quellen unterbleiben. Da diese Tiere meist in Herden im Wald leben, wirkt die mechanische Beanspruchung durch Tritt- und Wühltätigkeit besonders auf die Vegetation und die oberste Bodenschicht und Streuaufgabe intensiv und zerstörend. Dadurch gehen wertvolle Gewässerstrukturen verloren, die als potentieller Lebensraum für Wirbellose nicht mehr zur Verfügung stehen.

- Verrohrungen unter Waldwegen ohne Absturz und mit Sedimentauflage

Verrohrungen zur Drainage bzw. zum Abführen von Wasser sollten möglichst nicht gebaut werden. Sollte hierzu keine Alternative möglich sein, z.B. durch grobe Schotterungen der Wegpartien, die den unterirdischen Durchfluss des Wassers ermöglichen, so sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass keine Abstürze entstehen. Auch sollten die Verrohrungen selbst Substratauflagen haben, damit eine ungehinderte Wanderung der Sohlenbewohner stattfinden kann.

- Aufstau von Quellwasser in künstlichen Teichen vermeiden

Der Aufstau von kühlem, nährstoffarmem und fließendem Quellwasser führt zu einer völligen Veränderung der Lebensbedingungen in stehenden, künstlich angelegten Teichanlagen. Das Wasser kann sich erwärmen, was in Folge dazu führt, dass der Sauerstoffgehalt sinkt. Der Eintrag von Nährstoffen kann nicht mit dem Fließen im Oberflächengewässer abgeführt werden, so dass eine Eutrophierung einsetzen kann. Außerdem kann die Wanderung von Organismen im Fließgewässerkontinuum durch Teiche unterbunden werden (meist durch Schleusen), so dass zudem eine ökologische Barriere besteht.

- Verbau vermeiden und gefasste Quellen revitalisieren

Der Verbau durch Quelfassungen sollte unterbleiben und gefasste Quellen sollten, sofern keine Trinkwassernutzung mehr erfolgt, zurückgebaut bzw. revitalisiert werden. Quelfassungen stellen eine Wanderbarriere zwischen Grundwasser- und Oberflächengewässerlebensraum dar. Vor allem ist eine deutliche Substrattypenarmut festzustellen, die zu einer biologischen Artenarmut führt. Es sollte bei Revitalisierungen darauf geachtet werden, dass lediglich künstliche Baustoffe entfernt werden. Eine Gestaltung und/oder Bepflanzung sollte unterbleiben, damit eine eigendynamische Entwicklung sowie eine Sukzession der Quellflur erfolgen können.

- Kahlschlag vermeiden

Eine flächenhafte Entnahme von Bäumen führt zu erheblichen Veränderungen der Standortbedingungen von Quellen. Durch die erhöhte Sonneneinstrahlung wird der Temperaturhaushalt im Quellbereich stark verändert. Höhere Wassertemperaturen und höhere Temperaturamplituden sind möglich. Die Folge ist eine Verringerung des Sauerstoffgehaltes. Außerdem führen Kahlschläge zu einer Veränderung der Quellflur, d.h. walddtypische Gesellschaften der Weichwasserquellfluren werden verdrängt und es entstehen Offenlandgesellschaften. Eine Erneuerung der Streuauflage aus Falllaub unterbleibt, so dass grobpartikuläres organisches Material (CPOM) als bedeutendes Mikrohabitat, das als Substrat unmittelbar als Nahrungsgrundlage dient, fehlt. Die strukturelle Verarmung dürfte nicht nur zu einer Artverschiebung der Fauna-Biozönose führen, sondern auch zu einer Abnahme der Artenvielfalt. Für Arten, die nur in Waldquellen als Refugiallebensräume vorkommen, geht ein Habitat unwiederbringlich verloren.

## 8. Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

### 8.1 Schlussfolgerungen

Quellgewässer sind Grenzlebensraum und Bindeglied zwischen unter- und oberirdischen Gewässern sowie zwischen dem aquatischen und terrestrischen Bereich der Landoberfläche. Räumlich und funktional lässt sich das Eukrenal der Quellen dabei strukturell und faunistisch weiter differenzieren. Der Erkenntnisgewinn zur Untersuchung der Substratpräferenz und der Mikrohabitat-Fauna-Beziehung von Quellen wird wie folgt in thematisch gegliederte Schlussfolgerungen zusammengefasst:

#### Untersuchungsansatz

- Ein räumlich-hierarchisches System für Quellgewässer bietet eine konzeptionelle Grundlage einzelne Substrattypen im Eukrenal als Untereinheiten zu kennzeichnen.
- Die strukturelle Heterogenität von Quellen lässt sich durch substratspezifische Habitattypen gewässertypologisch kennzeichnen.
- Unterschiedliche landschaftsökologische Dimensionsebenen und hydrologische Skalenniveaus sind in einem räumlich-hierarchischen System integrativ darstellbar und kennzeichnen einen funktionalen Zusammenhang zwischen den Systemkomponenten.
- Substrat, Hydrotop und Einzugsgebiet sind geeignete Systemkomponenten die einen dimensionsübergreifenden Bezug zwischen Mikrohabitat, Quellhabitat und Quellumfeld als Lebensraum herstellen.
- Ein integrativer Ansatz verbindet bio- und geowissenschaftliche Methoden und fachspezifische methodologische Konzepte zur praxisrelevanten Anwendung eines gewässerökologischen Untersuchungsprogramms.
- Die Einbindung naturräumlich bedingter Einflussfaktoren (Systemkomponente Einzugsgebiet) führt zu einer regionalspezifischen Konkretisierung der Kennzeichnung abiotischer Parameter, wie der Acidität des Quellwassers.
- Die Berücksichtigung des Ökotoncharakters ermöglicht eine umfassende ökologische Kennzeichnung der Quelle als Gewässer mit aquatischen und amphibischen Bereichen sowie dessen terrestrischen Umfeldes.

#### Erfassungsmethodik

- Eine gewässerökologische Erfassung des Eukrenals ist aufgrund der Kleinräumigkeit nur mit Methoden der Freilandökologie, d.h. im Gelände durch eine Vor-Ort-Kartierung sinnvoll.
- Ein umfangreiches Untersuchungsprogramm mit Mindestanforderungen zur Erfassung wichtiger Umweltfaktoren ist notwendig, um die Mikrohabitat-Fauna-Beziehung zu analysieren.
- Das Multihabitat-Sampling ist eine geeignete Methode der Substratkartierung und differenzierten Kennzeichnung von Substrattypen.
- Die Erfassung der Wirbellosenfauna nach dem Verfahren des Multihabitat-Samplings eignet sich gut zur faunistischen Kennzeichnung dominierender bzw. repräsentativer Substrattypen.



- Der 2-Schicht-Ansatz ermöglicht eine detaillierte Erfassung aller vorkommenden Substrattypen nach deren Deckungsgrad.
- Eine Probennahme der Fauna durch einfache Aufsammlungs- und Keschermethoden ist für den aquatischen Bereich gut durchführbar, allerdings für den terrestrischen Bereich problematisch, um nach dem Multihabitat-Sampling ausreichend Taxa zu erfassen.
- Mit einer wenig aufwendigen Vor-Ort-Analytik kann der hydrochemische Ist-Zustand gut charakterisiert werden, um die Wasserqualität einzuschätzen.
- Die Sichtkartierung des Quellumfeldes nach der Viertelsegmentmethode ermöglicht eine Kennzeichnung der Landnutzung und Biotoptypen.

### **Substratpräferenz der Fauna**

- Spezifische Substratbindungen bestimmter Taxa sind festzustellen und lassen sich anhand des Vorkommens innerhalb der jeweiligen Substrattypen kennzeichnen.
- Zur Kennzeichnung der Substratpräferenz ist die Stetigkeit als statistisches Treumaß zur Auswertung des Vorkommens eines Taxon gut geeignet.
- Eine Beurteilung der Substratpräferenz ist abhängig von der Anzahl der Einzelfunde, d.h. für häufige Taxa als robust zu bewerten, allerdings für seltene Taxa problematisch einzuschätzen.
- Die Kennzeichnung der Substratpräferenz kann den Ist-Zustand zu einem bestimmten Zeitpunkt charakterisieren, sollte in Langzeitstudien (Dauermonitoring) eingebunden werden, um mögliche Veränderungen zu erfassen.
- Es lassen sich bestimmte Taxa kennzeichnen, die als Bioindikatoren der Substratpräferenz die ökologische Bedeutung von Substrattypen charakterisieren.
- Unterschiedliche organische Substrattypen werden häufig von unterschiedlichen Taxa besiedelt und haben eine besondere Bedeutung als Nahrungsgrundlage in meist oligotrophen Quellgewässern.
- Feinkörnige mineralische Substrattypen werden häufig von unterschiedlichen Taxa besiedelt, allerdings ist eine Substratbindung ausnahmslos im Psammopelal (Schlamm, Lehm) festzustellen.
- Die Kennzeichnung der Substratpräferenz grobkörniger Substrattypen ist möglich, wobei nur das Mikrolithal (Grobkies) von Bedeutung ist und die Substratbindung meist unter dem Vorbehalt einer geringen Anzahl von Einzelfunden zu sehen ist.
- Künstliche Substrate oder natürliche Substrattypen wie Nadelstreu werden selten und ohne erkennbare Substratpräferenz besiedelt.

### **Mikrohabitat-Fauna-Beziehung (Funktion der Mikrohabitate)**

- Die Mikrohabitat-Fauna-Beziehung kann anhand der Ernährungs- und Lebensweise sowie Lebensform der Taxa funktional analysiert werden.
- Mikrohabitate lassen sich meist als multifunktional charakterisieren, wobei sich Organismen direkt vom Substrat ernähren, sich zurückziehen (Refugium), sich reproduzieren oder andere Organismen als Beute- oder Wirtstiere aufsuchen.
- Anhand der Funktion die ein Substrat als Mikrohabitat erfüllt, kann der Grad der Substratpräferenz und somit die Indikatoreignung eines Taxon interpretiert und beurteilt werden.
- Die Berücksichtigung des Ökotoncharakters ermöglicht eine Kennzeichnung der Mikrohabitat-Fauna-Beziehung quellspezifischer aquatischer Taxa, aber auch terrestrischer Organismen.

### Strukturelle Bedeutung des Substrats

- Die dominierenden mineralischen und organischen Substrattypen eignen sich zur Ableitung von Habitattypen, die das gesamte Eukrenal strukturell differenziert kennzeichnen.
- Eine Unterteilung in aggregierte und detaillierte Habitattypen ermöglicht eine Kennzeichnung der Substratpräferenz in unterschiedlichen Komplexitätsstufen, was sowohl eine Vereinfachung als auch Konkretisierung in der Darstellung gestattet.
- Ein hoch signifikanter Zusammenhang ist zwischen der Substratvielfalt und der Biodiversität festzustellen
- Gewässermorphologisch wirksame Degradationen, wie der Verbau von Quellen, lassen sich durch eine geringe Substratvielfalt kennzeichnen, die wiederum durch eine signifikante Artenarmut charakterisiert werden kann.
- Das Umfeld mit unterschiedlichen Waldformen (Quell-/Bruch-, Laub-, Misch- und Nadelwald) hat einen Einfluss auf die Substratvielfalt.
- Die höchste Substratvielfalt ist in Laubwäldern festzustellen.
- Die Erfassung und Kennzeichnung des Substrats stellt eine status-quo-Analyse dar. In weiteren, langfristigen Forschungsprojekten sollten dynamische Prozesse sowie deren Auswirkung auf die Besiedlung untersucht werden.

### Faunistische Relevanz der Habitattypen (→ Validierung)

- Eine spezifische Habitattypenpräferenz bestimmter Taxa ist festzustellen und lässt sich anhand des Vorkommens innerhalb der jeweiligen Habitattypen charakterisieren.
- Organisch dominierte Habitattypen werden besonders häufig besiedelt, wobei sich entsprechende Habitattyppräferenzen bestimmter Taxa nachweisen lassen.
- Eine Unterteilung der organisch dominierten Habitattypen in von mineralischen Substrattypen geprägten Untertypen eignet sich zur faunistisch relevanten Differenzierung.
- Die repräsentativen Habitattypen werden von CPOM (grobpartikuläres organisches Material), Makrophyten, Psammopelal sowie Mikrolithal dominiert, wobei spezifische Besiedlung bestimmter Taxa festzustellen ist.
- Eine faunistische Relevanz mineralisch dominierter Habitattypen ist nicht eindeutig festzustellen, d.h. hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig.
- Für spezifische Taxa ist eine Habitattypenpräferenzen zu kennzeichnen, allerdings ist es notwendig in weiteren Untersuchungen zu kennzeichnen, wie Besiedlungsmuster aussehen, wenn bestimmte Habitattypen verändert werden oder verloren gehen.

### Bedeutung für die forstwirtschaftliche Praxis (Handlungsempfehlungen)

- Eine ungestörte und naturnahe Entwicklung von Quellen zur Ausbildung möglichst standorttypischer und vielfältiger Kleinstrukturen und Substraten wird empfohlen.
- Forstwirtschaftliche Tätigkeiten sollten im unmittelbaren Quellbereich vollständig unterbleiben.
- Eine deutliche Reduktion der Artenvielfalt und ein Fehlen quelltypischer Arten in fast ausschließlich durch Nadelstreu dominierten Quellen sind festzustellen.

- Ein 100-Meter-Radius als Mindestabstand im Umkreis des Quellaustritts wird vorgeschlagen, jedoch muss eine landschaftsökologische Analyse der Umfeldeinflüsse durch eine forstwirtschaftliche Nutzung erbracht werden.

Schlussbetrachtung: Das Substrat hat eine besondere Bedeutung als Mikrohabitat für die aquatische und terrestrische Wirbellosefauna der Quellgewässer. Eine spezifische Substratpräferenz bestimmter Taxa ist für Mittelgebirgs-Waldquellen der untersuchten Regionen in Hessen und Thüringen festzustellen. Die Funktionen der Mikrohabitate sind vor allem in der Nahrungsgrundlage, Refugium-, Schutz- sowie Reproduktionsraum zu kennzeichnen. Die quantitative Charakterisierung der Mikrohabitat-Fauna-Beziehung kann unter Anwendung des Multihabitat-Samplings als weiter entwickelte integrierte Erfassungs- und Beprobungsmethode und dem 2-Schicht-Ansatz differenziert dargestellt werden. Für die Ableitung repräsentativer substratspezifischer Habitattypen ist eine faunistische Relevanz durch eine spezifische Besiedlung bestimmter Taxa festzustellen. Die Interpretation und Diskussion einiger Ergebnisse führt zu neuen Hypothesen, welche die Notwendigkeit des weiteren Forschungsbedarfs zur Thematik der Substratpräferenz und der Mikrohabitat-Fauna-Beziehung von Quellgewässern kennzeichnen.

## 8.2 Ausblick

Es wird ein Ausblick gegeben auf weitere, mögliche Themen der Forschungsarbeit an Quellgewässern, wie sie sich im Sinne offener Fragen aus der vorliegenden Arbeit ableiten:

- Weitere vergleichende Untersuchungen zur Substratpräferenz und Habitattypbindung bestimmter Organismen der Wirbellosenfauna in unterschiedlichen Teillebensräumen von Quellgewässern sind notwendig:
  - in weiteren Mittelgebirgsregionen und Waldlandschaften Mitteleuropas
  - in waldfreien Offenlandschaften Mitteleuropas
  - in Wald- und Offenlandschaften in anderen Naturräumen Mitteleuropas (Tief-land, Hochgebirge)
  - außerhalb der gemäßigten Breiten
  - in unterschiedlicher Quelltypen wie Thermal- und Solequellen
- Neben der Anwendung des Multihabitat-Samplings sollten weitere abiotische Umweltfaktoren in vergleichenden Untersuchungen erfasst werden, damit mögliche Parameter gekennzeichnet werden, die einen Einfluss auf die Artzusammensetzung haben und die Ergebnisse vergleichbar sind.

- Eine Erfassungsmethode, die unabhängig vom Deckungsgrad alle vorkommenden Substrattypen gleich gewichtet analysiert, sollte zum Vergleich der Ergebnisse neben dem Multihabitat-Sampling getestet werden.
- Die Substratpräferenz sollte vor dem Hintergrund dynamischer Prozesse, die eine Veränderung der Deckungsgrade von Substraten verursacht, analysiert werden. Das heißt:
  - nach Veränderungen innerhalb einer Jahreszeit
  - nach langfristigen Veränderungen, z.B. innerhalb von Dekaden
  - hierzu sollten auch Veränderungen der Land- oder Bodennutzung gezählt werden
  - sowie klimatische Veränderungen (Klimawandel)
  - unter Einbeziehung abiotischer Parameter wie Schüttung, Wassertemperatur und chemische Wasserqualität
- Für Studien eines Dauer-Monitorings bietet sich eine Fortführung der Untersuchungen in den Nationalparks- und Biosphärenreservatsflächen an, da es dem Forschungsauftrag dieser Einrichtungen entspricht. Hierzu sollte auch eine internationale vergleichende Nationalparkforschung gezählt werden (siehe erste Schlussfolgerung).
- Die Bedeutung von Substraten in temporären Quellgewässern für überdauernde Organismen sollte näher untersucht werden, wobei auf eine Kennzeichnung des Bodenwasserhaushalts (Bodenwassergehalt, Einfluss von Interflow) während des Trockenfallens eingegangen werden sollte.
- Die Fangmethodik zur Erfassung der Fauna sollte erweitert werden, um effektivere Beprobungen zu gewährleisten:
  - Einsatz eines Fangnetzes aus Müllergaze;
  - Benutzung eines Exhaustor.
- Ein gewässerökologisches Bewertungsverfahren ist zu entwickeln, welches bestehende Ansätze der naturschutzfachlichen Bewertung von Quellen ergänzt und die Bedeutung der Substrate berücksichtigt.
- Untersuchungen zur Substratpräferenz und der Mikrohabitat-Fauna-Beziehung sollten auf das Hypokrenal ausgeweitet werden, damit mögliche Veränderungen im Längsverlauf des abfließenden Quellbachs gekennzeichnet werden.

## 9. Zusammenfassung

Das Eukrenal ist der Bereich einer Quelle an dem Grundwasser an die Erdoberfläche austritt. Somit ist es ein vom unterirdischen Wasser gebildetes und beeinflusstes Oberflächengewässer. Quellen sind demnach besondere Grenzlebensräume (Ökotone), in denen neben einer spezialisierten aquatischen Quellfauna (Krenobionte), Organismen aus den subterranean (Stygobionte) sowie Fließ- (Rhithrobionte) oder Stand-Gewässerbereichen (Limnobionte) vorkommen. In wie weit dabei bestimmte Taxa an einen solchen Lebensraum gebunden sind, war und ist ein Schwerpunkt faunistisch-ökologischer Untersuchungen zur Habitat-Fauna-Beziehung. Eine solche Einteilung der Quellpräferenz dient neben der Erfassung hydrochemischer Parameter als Indikatorwert zur naturschutzfachlichen Bewertung der Naturnähe oder als Grad einer ungestörten Entwicklung von Quellen. Dabei ist die vertikale Ausprägung des Ökotoncharakters im aquatischen Bereich, bezogen auf das Makrozoobenthos, oft berücksichtigt worden. Die Erfassung und Analyse gewässermorphologischer Strukturen ist dabei bislang vor allem unter dem Aspekt struktureller Degradationen wie Verbau durch Quellsassungen bzw. Beeinträchtigungen durch menschliche Nutzungen erfolgt. Die Funktion und Bedeutung von Substraten als physische Elemente der Gewässerstruktur und als Mikrohabitate für Organismen, insbesondere für Wirbellose (Invertebraten) sind nur wenig untersucht. Im Sinne eines Äquivalents faunistisch-ökologischer Untersuchungen zur Habitat-Fauna-Beziehung im gesamten Quellhabitat fehlen gewässertypspezifische Analysen zur Substratpräferenz im Eukrenal im Sinne einer speziellen Mikrohabitat-Fauna-Beziehung weitestgehend. Hierbei ist der vertikal verlaufende Ökotoncharakter vom aquatischen über den amphibischen zum terrestrischen Bereich überwiegend unbeachtet geblieben. Dabei ist anzunehmen, dass auch einzelne Substrattypen in diesem Grenzsraum von unterschiedlichen, möglicherweise speziellen Taxa besiedelt werden. Untersuchungen der Substratpräferenz sind vor allem in Fließgewässern wie Bächen und Flüssen sowie in stehenden Oberflächengewässern wie Seen und entsprechenden Kleingewässern durchgeführt worden. Für Quellgewässer liegen bislang nur wenige Befunde vor, zumeist auch nur für den aquatischen Bereich und taxonomisch beschränkt auf bestimmte Tiergruppen der Wirbellosen. Dieses Defizit begründet den in dieser Arbeit in der Problemstellung formulierten Forschungsbedarf. Die hieraus abgeleiteten Fragen lauten:

1. Gibt es Substratpräferenzen bestimmter Taxa (Art, Gattung, Familie) unter Berücksichtigung des Ökotoncharakters von Quellen?
2. Welche Funktion hat das Substrat bzw. der Substrattyp als Mikrohabitat für die Fauna?
3. Lässt sich eine faunistische Relevanz substratspezifischer Habitattypen für Quellgewässer feststellen?

Die Gliederung dieser Arbeit ist strukturell so angeordnet, dass in **Kapitel 1** zunächst grundlegende Begriffe und Definitionen sowie unterschiedliche, fachspezifisch bedingte Auslegungen und Interpretationen dargestellt werden, um Termini dem Verständnis nach für diese Arbeit abzugrenzen. Der Forschungsstand wird anhand wichtiger Umweltfaktoren fachspezifisch untergliedert in Hydrologie und Hydrogeologie, Hydrobiologie und Gewässermorphologie dargestellt. Daraus wird abschließend eine Problemstellung mit den Zielen und den oben genannten Fragen abgeleitet und formuliert.



Eine Übersicht mit Kennzeichnung der Untersuchungsgebiete Große Hardt (Kellerwald), Nördlicher Burgwald, Krofdorf-Königsberger Forst (Krofdorfer Forst), Hoher Vogelsberg (Niddahänge), Rhön (Schafstein) sowie Hainich beinhaltet **Kapitel 2**. Wesentliche naturräumliche Charakteristika: geographische Lage und naturräumliche Gliederung, geologischer Untergrund und Relief, Böden, klimatische Kennzeichnung, Vegetation, gewässerkundliche Kennzeichnung sowie die kulturlandschaftliche Entwicklung werden für alle Untersuchungsgebiete mitgeteilt.

In **Kapitel 3** wird der Untersuchungsansatz als methodologische Grundlage beschrieben. Das heißt, es werden theoretische Ansätze dargestellt, um die Auswahl entsprechender Methoden nach den Frage- und Zielstellungen der Untersuchung zu begründen. Ein Gesamtüberblick erfolgt im Untersuchungsprogramm (Projekt- oder Forschungsdesign), dem die Erläuterungen zum räumlich-hierarchischen, integrativen sowie regionalspezifisch-gewässertypologischen Ansatz folgen. Dem Untersuchungsprogramm liegen die Arbeitsschritte der ökologischen Landschaftsforschung (Landschaftsanalyse, Landschaftsdiagnose und Landschaftsprognose) zu Grunde. Da in Untersuchungen zur Habitat-Fauna-Beziehung nicht von einem rein monokausalen Zusammenhang zwischen Substrat und Taxon auszugehen ist, werden weitere Umweltfaktoren erfasst, die einen Einfluss auf das Vorkommen oder das Fehlen von Taxa haben können sowie allgemein den ökologischen Zustand der Quelle kennzeichnen.

Eine Darstellung der angewandten Methoden erfolgt in **Kapitel 4**. Die Unterteilung wird in Erfassungsmethoden (Gelände), Externe Datenerhebung (Recherche) sowie Datenmanagement (Aufbereitung, Auswertung und Archivierung) vorgenommen. Dabei erfolgt eine Kurzbeschreibung der etablierten Methoden. Eine Weiterentwicklung bzw. ein Vorschlag für einen neuen Ansatz einer Methodenentwicklung stellt das Multihabitat-Sampling für Quellgewässer nach dem 2-Schicht-Ansatz dar. Hierbei handelt es sich um eine integrative Methode zur Substratkartierung und Faunabeprobung, wobei Wirbellose (Invertebraten) proportional zum Deckungsgrad des jeweiligen Substrattyps erfasst werden.

Die Ergebnisse aus dem Untersuchungsprogramm werden in **Kapitel 5** wieder gegeben. Eine Unterteilung erfolgt in eine abiotische sowie in eine biotische Kennzeichnung der Quellstandorte. Eine Darstellung der Ergebnisse zur Umfeldnutzung und zu Waldstrukturen, der Substrat- und Habitattypenpräferenz der Fauna, der Substratpräferenz und Indikatoreigenschaften sowie der Habitattypenpräferenz der Fauna erfolgt in den darauf folgenden Unterkapiteln.

**Kapitel 6** fasst die wesentlichen Aspekte zu den zentralen Fragen dieser Arbeit in der Diskussion und Interpretation der Ergebnisse zur Faunazusammensetzung, der Substrat-, Habitattyppräferenz und den Indikatoreigenschaften der Fauna sowie des Untersuchungsansatzes und der Methodik zusammen.

Handlungsempfehlungen zum Quell- und Artenschutz, wie sie sich u.a. aus den Ergebnissen dieser Arbeit ableiten, werden in **Kapitel 7** dargestellt. Die praxisrelevanten Hinweise richten sich insbesondere an die Forstwirtschaft, die entsprechenden Empfehlungen zum Gewässerschutz an Quellen zu berücksichtigen bzw. in Managementpläne zu übernehmen und zu realisieren. Diese stellen fachspezifische Ergänzungen zur Verwirklichung des aus der Forstwirtschaft stammenden Nachhaltigkeitsprinzips dar.

**Literaturverzeichnis**

- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland: Hannover
- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland: Hannover. (= Geologisches Jahrbuch Reihe G, Heft 2)
- AG FORSTEINRICHTUNG (1996): Forstliche Standortaufnahme. Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. „Arbeitskreis Standortkartierung“ in der „Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung“. IHW-Verlag: Eching
- AHNERT, F. (1996): Einführung in die Geomorphologie. Ulmer: Stuttgart
- AHRNS, C. & G. HOFMANN (1998): Vegetationsdynamik und Florenwandel im ehemaligen mitteldeutschen Waldschutzgebiet „Hainich“ im Intervall 1963 – 1995. In: *Hercynia N.F.*, 31, S.33-64
- ALEXAKIS, D. & G. TSAKIRIS (2010): Drought impacts on karstic spring annual water potential. Application on Almyros (Crete) brackish spring. In: *Desalination and Water Treatment* 16, p.229-237
- ALLAN, J.D. & M.M. CASTILLO (2007): *Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters*. Springer: Dordrecht
- ALLAN, J.D. (2004): Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. In: *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35, pp.257–84
- ALTERMANN, M. & D. KÜHN (1998): Systematik der bodenbildenden Substrate. In: *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 86, S.135-174
- ANDREE, C. & T. TIMM (1993): Die Quellen der Niederrheinischen Sandplatten. In: *Crunoecia* 2, S.39-63
- ANDREE, C., LISCHESKI, D. & T. TIMM (1996): Bewertungsverfahren Umfeld und Chemismus an Quellen. In: *Crunoecia* 5, S.215-226
- ANGELI, N., CANTONATI, M., SPITALE, D. & H. LANGE-BERTALOT (2010): A comparison between diatom assemblages in two groups of carbonate, low-altitude springs with different levels of anthropogenic disturbances. In: *Fottea* 10, pp.115-128
- ANGRADI, T.R. (1999): Fine sediment and macroinvertebrate assemblages in Appalachian streams: a field experiment with biomonitoring applications. In: *Journal of the North American Benthological Society* 18, pp.49-66
- ASPINALL, R. & D. PEARSON (2000): Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: Linking landscape ecology, environmental modelling and GIS. In: *Journal of Environmental Management* 59, pp.299-319
- AUDORFF, & C. BEIERKUHNLEIN (1999): Versauerung und Stoffausträge aus Quelleinzugsgebieten. In: BEIERKUHNLEIN, C. & T. GOLLAN (Hrsg.) (1999): *Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa*. Bayreuther Forum Ökologie, Band 71, S.103-117
- AUSOBSKY, A. (1987): Verbreitung und Ökologie der Weberknechte (Opiliones, Arachnida) des Bundeslandes Salzburg. In: *Jahrbuch Haus der Natur* 10, S.40-52

- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. & R. WEIBER (2008): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer: Berlin et al.
- BAHRENBURG, G., GIESE, E. & J. NIPPER (1985): Statistische Methoden in der Geographie. Band 1. Univariate und bivariate Statistik. Teubner: Stuttgart
- BARBOUR, M.T., GERRITSEN, J., SNYDER, B.D. & J.B. STRIBLING (1999): Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water: Washington
- BARSCH, H. (2000a): Anforderungsprofil. In: BARSCH, H., BILLWITZ, K. & H.-R. BORK (Hrsg.) (2000): Arbeitsmethoden in der Physiogeographie und Geoökologie, S.17-24. Klett-Perthes: Gotha, Stuttgart
- BARSCH, H. (2000b): Raumbezogene Umweltbewertungen. In: BARSCH, H., BILLWITZ, K. & H.-R. BORK (Hrsg.) (2000): Arbeitsmethoden in der Physiogeographie und Geoökologie, S.67-73. Klett-Perthes: Gotha, Stuttgart
- BASTIAN, O. & M. RÖDER (1998): Assessment of landscape change by land evaluation of past and present situation. In: Landscape and Urban Planning 41, pp.171-182
- BASTIAN, O. (1991): Biotische Komponenten in der Landschaftsforschung und -planung. Probleme ihrer Erfassung und Bewertung. Habilitationsschrift der Fakultät für Naturwissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- BASTIAN, O. (2000): Landscape classification in Saxony (Germany) – a tool for holistic regional planning. In: Landscape and Urban Planning 50, pp.145-155
- BAUER, L. (1959): Ringgau-Hainich-Obereichsfeld-Duen-Hainleite. In: MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J., GELLERT, J., NEEF, E., MÜLLER-MINY, H. & H.J. SCHULTZE (Hrsg.) (1959): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. 6. Lieferung. Bundesanstalt für Landeskunde u. Raumforschung: Bad Godesberg
- BAUMGARTNER, A. & H.-J. LIEBSCHER (1996): Quantitative Hydrologie. Lehrbuch der Hydrologie Band 1. 2. Auflage. Borntraeger: Berlin
- BECKER, A. (1992): Methodische Aspekte der Regionalisierung. In: KLEEGER, H.B. (Hrsg.): Regionalisierung in der Hydrologie, S.16-32. Wiley-VCH: Weinheim et al.
- BECKER, W., FREDE, A. & W. LEHMANN (1996): Pflanzenwelt zwischen Eder und Diemel. Flora des Landkreises Waldeck-Frankenberg mit Verbreitungsatlas. HGON und NABU: Korbach. (= Naturschutz in Waldeck-Frankenberg, Band 5)
- BEIERKUHNLEIN, C. (1999): Quellflurgesellschaften an helokrenen Waldquellen der silikatischen Mittelgebirge. In: BEIERKUHNLEIN, C. & T. GOLLAN (Hrsg.) (1999): Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa. Bayreuther Forum Ökologie, Band 71, S.143-154
- BEIERKUHNLEIN, C. & T. GOLLAN (1999): Forschung zu Quellökosystemen an der Universität Bayreuth – eine Einführung. In: BEIERKUHNLEIN, C. & T. GOLLAN (Hrsg.) (1999): Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa. Bayreuther Forum Ökologie, Band 71, S.1-8
- BEIERKUHNLEIN, C. & W. DURKA (1993): Beurteilung von Stoffausträgen immissionsbelasteter Waldökosysteme Nordostbayerns durch Quellwasseranalysen. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 112, S.225-239
- BEIERKUHNLEIN, C. & W. GRÄSLE (1993): Zum Temperaturverhalten von Waldquellen des Frankenwaldes (Nordost-Bayern). In: Crunoecia 2, S.5-14

- BEIERKUHNLEIN, C. (1994): Waldquellfluren im Frankenwald. Untersuchungen zur reaktiven Bioindikation. Dissertation aus dem Lehrstuhl für Biogeographie der Universität Bayreuth. (= Bayreuther Forum Ökologie 10)
- BEISEL, J.-N., USSEGLIO-POLATERA, P., THOMAS, S. & J.-C. MORETEAU (1998): A method to describe substrate heterogeneity at a microhabitat scale. First results on relationships with the macroinvertebrate community structure. In: BRETSCHKO, G. & J. HELEŠIĆ (Eds.) (1998): *Advances in River Bottom Ecology*. Backhuys Publishers: Leiden
- BENKE, M., BRÄNDLE, M., ALBRECHT, C. & T. WILKE (2009): Pleistocene phylogeography and phylogenetic concordance in cold-adapted spring snails (*Bythinella* spp.). In: *Molecular Ecology* 18, pp.890-903
- BERGEY, E.A., MATTHEWS, W.J. & J.E. FRY (2008): Springs in time: fish fauna and habitat changes in springs over a 20-year interval. In: *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18, pp.829-838
- BERNERTH, H., TOBIAS, W. & M. PACHMAJER (1999): Status quo von Taunusquellen – das ernüchternde Fazit einer Biotopkartierung. In: *Kleine Senckenberg-Reihe* 32, S.31-47
- BERTHOLD, G. (2006): Grundwasserbeschaffenheit. In: HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2006): *Jahresbericht 2005 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie*, S.43-62. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden
- BEYER, H. (1932): Die Tierwelt der Quellen und Bäche des Baumberggebietes. In: *Abhandlungen aus dem Westfälischen Provinz-Museum für Naturkunde* 3, S.9-187
- BFN (2002) = BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.) (2002): *Systematik der Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung (Kartieranleitung)*. Bundesamt für Naturschutz: Bonn-Bad Godesberg. (= Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 73)
- BICK, H. (1999): *Grundzüge der Ökologie*. 3. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag: Berlin
- BIELER, R., & P. M. MIKKELSEN (2006): Bivalvia – a look at the branches. In: *Zoological Journal of the Linnean Society* 148, pp.223-235
- BINOT, M., BLESS, R., BOYE, P., GRUTTKE, H. & P. PRETSCHER (Hrsg.) (1998): *Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands*. Bundesamt für Naturschutz: Bonn-Bad Godesberg. (= Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 55)
- BLACKWOOD, M.A., HALL, S.M. & L.C. FERRINGTON (1995): Emergence of Chironomidae from Springs in the Central High Plains Region of the United States. In: *Journal of the Kansas Entomological Society* 68 (2) supplement, pp.132-151
- BLÖCHER, K. (1983): Mischwälder im Burgwald. In: *Allgemeine Forstzeitschrift* 35, S.893-894.
- BLUME, H. (1957): Burgwald. In: MEYNEN, E. & J. SCHMITHÜSEN (Hrsg.) (1957): *Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands*. 4. und 5. Lieferung, S.538-539. Bundesanstalt für Landeskunde: Remagen
- BNatSchG (2009) = Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542)
- BODENVIEWER HESSEN = Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) (o.J.): Bodenviewer Hessen. URL: <http://www.hlug.de/medien/boden/fisbo/bodenviewer/>
- BOHLE, H.W. (1995): *Spezielle Ökologie. Limnische Systeme*. Springer: Berlin et al.

- BOHN, U. (1996): Vegetationskarte der Bundesrepublik Deutschland. Potentielle natürliche Vegetation Blatt CC 5518 Fulda 1:200.000. Bundesamt für Naturschutz: Bonn-Bad Godesberg. (= Schriftenreihe für Vegetationskunde, Heft 15)
- BONETTINI, A. M. & M. CANTONATI (1996). Macroinvertebrate assemblages of springs of the River Sarca catchment (Adamello-Brenta Natural Park, Trentino, Italy). In: *Crunoecia* 5, pp.71–78
- BORCHARDT, D. (1998): Zielsetzungen einer ökologischen Wasserwirtschaft. In: *Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie* 51, S.119-141
- BORN, M. (1966): Der Burgwald. In: Lauer, W. (Hrsg.)(1966): Marburg und Umgebung. Ein landeskundlicher Exkursionsführer. Stadt Marburg – Marburger Landschaft – Hinterland – Burgwald – Amöneburger Becken. Geographisches Institut der Universität Marburg: Marburg. (= Marburger Geographische Schriften, Heft 30)
- BORNHAUSER, K. (1912): Die Tierwelt der Quellen in der Umgebung Basels. In: *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, Biological Supplements* 5, S.1-90
- BOTOSANEANU, L. (1995): Springs as refugia for geographic relicts. In: *Crunoecia* 4, S.5-9
- BOUCHET, P. & J.-P. ROCROI (2005): Classification and nomenclator of gastropod families. In: *Malacologia* 47, 1–397
- BOUCSEIN, H. (1955): Der Burgwald. Forstgeschichte eines deutschen Waldgebietes. Elwert: Marburg
- BOYERO, L. (2003): The effect of substrate texture on colonization by stream macroinvertebrates. In: *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 39, pp.211-218
- BRAHMER, G. & S. ALTHOFF (2003): Landesweite Darstellung der Mittel- und Niedrigwasserverhältnisse für hessische Gewässer im Hinblick auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie. In: *Jahresbericht 2002 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie*, S.19-26
- BRAINWOOD, M., BURGIN, S. & M. BYRNE (2008): The role of geomorphology in substratum patch selection by freshwater mussels in the Hawkesbury-Nepean River (New South Wales) Australia. In: *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18, pp.1285-1301
- BRÄNDLE, M., HEUSER, R., MARTEN, A. & R. BRANDL (2007): Population structure of freshwater flatworm *Crenobia alpina* (Dana): old lineages and low gene flow. In: *Journal of Biogeography* 34, pp.1183-1192
- BRAUKMANN, U. (1987): Zooökologische und saprobiologische Beiträge zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie. Schweizerbart: Stuttgart. (= Archiv für Hydrobiologie, Ergebnisse der Limnologie, Beiheft 26)
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. Springer: Wien et al.
- BRAY, J. R. & J. T. CURTIS (1957): An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. In: *Ecological Monographs* 27, pp.325–349
- BREHM, J. & M.P.D. MEIJERING (1996): Fließgewässerkunde. Einführung in die Ökologie der Quellen, Bäche und Flüsse. Quelle und Meyer: Wiesbaden
- BREHM, J. (1973): Hydrologische und chemische Übersichtsuntersuchungen an den Fließgewässern des Schlitzerlandes. I. Quelltemperaturen. In: *Beiträge zur Naturkunde in Osthessen*, Heft 5/6, S.121-139



- BREHM, J. (1974): Hydrologische und chemische Übersichtsuntersuchungen an den Fließgewässern des Schlitzerlandes. II. Elektrolyte in Quellwässern. In: Beiträge zur Naturkunde in Osthessen, Heft 7/8, S.78-93
- BREHM, J. (1985): Der pH-Wert von Buntsandsteinquellen und -bächen. II. Der Waldquell-pH-wert nach Höhenlage der Wasseraustritte und der Hangneigungsrichtung der Quelleinzugsgebiete im Knüllgebirge. In: Beiträge zur Naturkunde in Osthessen, Band 21, S.53-66
- BURG, A. & T.H.E. HEATON (1998): The relationship between the nitrate concentration and hydrology of a small chalk spring; Israel. In: Journal of Hydrology 204, pp.68-82
- BUSHART, M. & R. SUCK (2008): Potentielle Natürliche Vegetation Thüringens. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie: Jena. (= Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Nr. 78)
- BÜTTNER, G., FETZ, R., HOTZY, R. & J. RÖMHELD (2008): Aktionsprogramm Quellen in Bayern – 1.Teil Bayerischer Quelltypenatlas. Unveränderter Nachdruck der 1. Auflage von 2004. Bayerisches Landesamt für Umwelt: Augsburg
- CANTONATI, M. & D. SPITALE (2009): The role of environmental variables in structuring epiphytic and epilithic diatom assemblages in springs and streams of Dolomiti Bellunesi National Park (south-eastern Alps). In: Fundamental and Applied Limnology 174, pp.117-133
- CANTONATI, M. (2007): State of the art of biological research on springs. In: Landesverband für Vogelschutz in Bayern e.V. (Hrsg.) (2007): Tagungsband Life-Natur-Projekt Kalktuffquellen in der Frankenalb, S.22-23
- CANTONATI, M., BERTUZZI, E. & D. SPITALE (Eds.) (2007): The spring habitat: biota and sampling methods. Museo Tridentino di Scienze Naturali: Trento. (= Monografie del Museo Tridentino di Scienze Naturali 4)
- CANTONATI, M., GERECKE, R. & E. BERTUZZI (2006): Springs of the Alps – sensitive ecosystems to environmental change: from biodiversity assessment to long-term studies. In: Hydrobiologia 562, pp.59-96
- CLARKE, K.R. & R.M. WARWICK (2001). Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd Edition. PRIMER-E: Plymouth
- CLARKE, K.R. (1993): Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. In: Australian Journal of Ecology 18, pp.117-143
- CRAMER VON LAUE, O. (1997): Regionalentwicklung im Biosphärenreservat Rhön im Spannungsfeld zwischen Bevölkerung und Experten. In: Frankfurter Geographische Hefte 62, S.7-135
- CUSHING, C.E. & W.L. GAINES (1989): Thoughts on recolonization of endorheic cold desert spring-streams. In: Journal of the North American Benthological Society 8: pp.227-287
- CZACHOROWSKI, S. (1999): Methods of recording and faunistical research of spring habitats in Poland. In: Crunoecia 6, S.63-66
- DANIELOPOL, D. L. (1984): Ecological investigations on the alluvial sediments of the Danube in the Vienna area - a phreatobiological project. In: Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 22, pp.1755-1761.
- DÄUBLE, F. (2004): Blockmeer - Blockgletscher - Blockhalde? Ergebnisse neuer Untersuchungen am Schafstein/Rhön. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg

- DEMEL, W. & P. HAUENSTEIN (2005): Alpine Habitat Diversity - HABITALP. Cartography of habitats by Colour Infrared Aerial Images Guidelines for Delimitation and Interpretation. Delimitation Guidelines. Projektdokumentation unter <http://www.habitalp.org/doc/index.php>
- DETSCH, R. (2000): Vielfalt im Naturwald – Einfalt im Wirtschaftswald? Ergebnisbeispiele aus Strukturvergleichen von Naturwaldreservaten und Wirtschaftswäldern. In: SCHULTE, U., GENKINGER, R. & M. KEBBEL (2000): Buchen-Naturwaldreservate – unsere Urwälder von morgen. Natur- und Umweltschutz-Akademie des Landes Nordrhein-Westfalen: Recklinghausen. (= NUA-Seminarbericht 4)
- DGJ (2006) = LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.)(2006): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Rheingebiet, Teil III. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Recklinghausen
- DGJ (2006a) = LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.)(2006): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Rheingebiet, Teil III. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Recklinghausen
- DGJ (2006b) = BAYERISCHES LANDESAMT UMWELT (Hrsg.)(2006): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Rheingebiet, Teil II. Bayerisches Landesamt Umwelt: München
- DI SABATINO, A., CICOLANI, B. & R. GERECKE (2003): Biodiversity and distribution of water mites (Acari, Hydrachnidia) in spring habitats. In: *Freshwater Biology* 48, pp.2163-2173
- DI SABATINO, A., GERECKE, R. & P. MARTIN (2000): The biology and ecology of lotic water mites (Hydrachnidia). In: *Freshwater Biology* 44, pp.47-62
- DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie. Ulmer: Stuttgart
- DIERSEN, K. (1990): Einführung in die Pflanzensoziologie (Vegetationskunde). Wissenschaftliche Buchgesellschaft: Darmstadt
- DIKAU, R., FRIEDRICH, K. & H. LESER (1999): Die Aufnahme und Erfassung landschaftsökologischer Daten. In: ZEPP, H. & M.J. MÜLLER (Hrsg.) (1999): Landschaftsökologische Erfassungsstandards. Ein Methodenbuch. Deutsche Akademie für Landeskunde, Selbstverlag: Flensburg
- DIN (1994) = DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (Hrsg.) (1994): Wasserwesen. Begriffe; Normen. Beuth: Berlin et al (= DIN-Taschenbuch 211)
- DOERPINGHAUS, A. (2003): Quellen, Sümpfe und Moore in der deutsch-belgischen Hocheifel – Vegetation, Ökologie, Naturschutz. Bundesamt für Naturschutz: Bonn. (= Angewandte Landschaftsökologie Heft 58)
- DRDOŠ, J. (1983): Landscape Research and its Anthropocentric Orientation. In: *GeoJournal* 7.2, pp.155-160
- DUMNICKA, E., GALAS, J. & P. KOPERSKI (2007): Benthic Invertebrates in Karst Springs: Does Substratum or Location Define Communities? In: *International Review of Hydrobiology* 92, pp.452-464
- DURKA, W. (1994): Isotopenchemie des Nitrats, Nitrataustrag, Wasserchemie und Vegetation von Waldquellen im Fichtelgebirge (NO-Bayern). Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK): Bayreuth. (= Bayreuther Forum Ökologie 11)
- DURKA, W. (1999): Stickstoffhaushalt von Waldeinzugsgebieten. In: BEIERKUHNLEIN, C. & T. GOLLAN (Hrsg.) (1999): Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa. Bayreuther Forum Ökologie, Band 71, S.47-64

- DUTTMANN, R., BIERBAUM, J., MOSIMANN, T. & J. VOGES (2000): Dimensionsübergreifende Modellierung des Wasser- und Stofftransportes am Beispiel eines GIS-basierten „downscalings“. In: GLAWION, R. & H. ZEPP (Hrsg.): Probleme und Strategien ökologischer Landschaftsanalyse und –bewertung. Deutsche Akademie für Landeskunde: Flensburg. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd.246)
- DVWK (1993) = DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V. (Hrsg.) (1993): Stoffeinträge und Grundwasserbewirtschaftung. Parey: Hamburg et al. (= Schriftenreihe DVWK, Heft 104)
- DWD (2003) = DEUTSCHER WETTERDIENST (Hrsg.)(2003): Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland. CD-ROM Ausgabe. Deutscher Wetterdienst: Offenbach a.M.
- DYCK, F. & G. PESCHKE (1995): Grundlagen der Hydrologie. Verlag für Bauwesen: Berlin
- EBHARDT, G. (1980): Häufigkeitsverteilung, Autokorrelation und Jahresgang der Abflüsse badischer Quellen. In: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Band 131, S.255-268
- EHRENBERG, K.-H. & H. HICKETHIER (1985): Die Basaltbasis im Vogelsberg. Schollenbau und Hinweise zur Entwicklung der vulkanischen Abfolge. In: Geologisches Jahrbuch Hessen 113, S.97-135
- EHRENBERG, K.-H. & H. HICKETHIER (2002): Vulkanologische Karte der Wasserkuppenrhön 1:15.000 mit Erläuterungen. Mit Vergleichen zur Kuppenrhön. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden
- EISEL, G. (1965): Siedlungsgeographische Geländeforschungen im südlichen Burgwald. Geographisches Institut der Universität Marburg: Marburg. (= Marburger Geographische Schriften, Heft 24)
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Ulmer: Stuttgart
- ERMAN, N.A. & D.C. ERMAN (1984): The response of stream macroinvertebrates to substrate size and heterogeneity. In: Hydrobiologia 108, pp.75-82
- ERMAN, N.A. & D.C. ERMAN (1995): Spring Permanence, Trichoptera Species Richness, and the Role of Drought. In: Journal of the Kansas Entomological Society 68 (2) supplement, pp.50-64
- EVTIMOVA, V.V., PANDOURSKI, I.S. & A.D. BENDEREV (2009): Stygofauna of Karstic Ecosystem in Ponor Mountains, Western Bulgaria: Present Knowledge and Research Challenges. In: Acta Zoologica Bulgarica 61, pp.161-167
- FEUERBORN, H.J. (1923): Die Larven der Psychodiden oder Schmetterlingsmücken. Ein Beitrag zur Ökologie des „Feuchten“. In: Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 1, S.181-213
- FISCHER, F. (2003). Das Nischenkonzept und seine Bedeutung für die Erklärung regionaler Verbreitungsmuster am Beispiel dreier Glossosomatidenarten (Trichoptera, Glossosomatidae). Dissertation Universität Marburg
- FISCHER, J. (1994): Zum Vorkommen von Eintagsfliegen (Insecta: Ephemeroptera) in Quellen der deutschen Mittelgebirgsregion. In: Crunoecia 3, pp.49-53
- FISCHER, J. (1996): Kaltstenothermie – einziger Schlüssel zum Verständnis der Krenobionten. In: Crunoecia 5, S.91-96
- FISCHER, J., FISCHER, F., SCHNABEL, S., WAGNER, R. & H.-W. BOHLE (1998): Die Quellenfauna der hessischen Mittelgebirgsregion. Besiedlungsstruktur, Anpassungsmechanismen und

- Habitatbindung der Makroinvertebraten am Beispiel von Quellen aus dem Rheinischen Schiefergebirge und der ostthessischen Buntsandsteinlandschaft. In: BOTOSANEANU, L. (Ed.) (1998): *Studies in Crenobiology. The biology of springs and springbrooks*, pp.183-199. Backhuys Publishers: Leiden
- FITTKAU, E. J. (1949): Mitteilung über die in der Fulda und ihren Zuflüssen aufgefundenen Weichtiere. In: *Jahresbericht der Limnologischen Flußstation Freudenthal, Außenstelle der Hydrobiologischen Anstalt der Max-Planck-Gesellschaft*, S. 17–19
- FRANK, C. (2000): Über holozäne Molluskenfaunen dreier Fundstellen im südlichen Wiener Becken (Niederösterreich). In: *Wissenschaftliche Mitteilungen des Niederösterreichischen Landesmuseums* 13, S.31-45
- FRANZ, H., GERECKE, R., STUR, E., WAGNER, R. & S. WIEDENBRUG (2006): Vorschläge für die langfristige Umweltbeobachtung, Ausblick. In: GERECKE, R. & H. FRANZ (Hrsg.) (2006): *Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Lebensgemeinschaften als Indikatoren des Klimawandels*, S.255-263. Nationalparkverwaltung Berchtesgaden: Berchtesgaden. (= Forschungsbericht 51/2006)
- FRISELL, C.A., LISS, W.L., WARREN, C.E. & M.D. HURLEY (1986): A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context. In: *Environmental Management* 10, S. 199-214
- FUCHS, E. (2006): Flussmorphologie und Ökologie – Modellierungsansätze. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde, *Veranstaltungen 5/2006*, S.84-93
- FÜHRER, H.-W. (1990): Einflüsse des Waldes und waldbaulicher Maßnahmen auf Höhe, zeitliche Verteilung und Qualität des Abflusses aus kleinen Einzugsgebieten – Projektstudie im Krofdorfer Buchenforst. Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München und Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt: München. (= Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 106)
- FURTAK, H. & LANGGUTH, H.R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. *Memoir IAH-Congress 7 (1965)*, pp.89-96
- GALAS, J. (2005): Human impact on physical and chemical properties of springs from Cracow-Czestochowa Upland (Southern Poland). In: *Polish Journal of Ecology* 53, pp.329-341
- GAMITO, S. (2010): Caution is needed when applying Margalef diversity index. In: *Ecological Indicators* 10, pp.550–551
- GASKIN, B. & D. BASS (2000): Macroinvertebrates Collected From Seven Oklahoma Springs. In: *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science* 80, pp.17-23
- GATHMANN, F.O., MANNE, L.L. & D.D. WILLIAMS (2009): Spatial patterns in insect community composition in coldwater springs. In: *Aquatic Ecology* 43, pp.501-512
- GAUTERIN, H. (1999): Vorschlag zu einer überregionalen faunistischen Quelltypologie mit einer Beschreibung der *Crenobia alpina*-*Bythinella dunkeri*-Zoozönose. In: *Crunoecia* 6, S.67-72
- GEE, J.H.R. & B.D. SMITH (1997): Benthic invertebrates in the headwaters of the Wye and Severn: effects of forestry and clear-felling. In: *Hydrology and Earth System Sciences* 1, pp.549-556
- GERECKE, R. & H. FRANZ (2006): *Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Lebensgemeinschaften als Indikatoren des Klimawandels*. Nationalparkverwaltung Berchtesgaden: Berchtesgaden. (= Forschungsbericht 51/2006)

- GERECKE, R. (1991): Taxonomische, faunistische und ökologische Untersuchungen an Wassermilben (Acari, Actinedida) aus Sizilien unter Berücksichtigung anderer aquatischer Invertebraten. In: *Lauterbornia* 7, S.1-303
- GERECKE, R. (1994): Süßwassermilben (Hydrachnellae). Ein Bestimmungsschlüssel für die aus der Westpaläarktis bekannten Gattungen der Hydrachnellae mit einer einführenden Übersicht über die im Wasser vorkommenden Milben. In: *Lauterbornia* 18, S.1-84
- GERECKE, R., MEISCH, C., STOCH, F. ACRI, F. & H. FRANZ (1998): Eucrenon/Hypocrenon ecotone and spring typology in the Alps of Berchtesgaden (Upper Bavaria, Germany). A study of microcrustacea (Crustacea: Copepoda, Ostracoda) and water mites (Acari: Halacaridae, Hydrachnellae). In: BOTOSANEANU, L. (Ed.) (1998): *Studies in Crenobiology. The biology of springs and springbrooks*, pp.167-182. Backhuys Publishers: Leiden
- GERECKE, R., SCHATZ, H. & A. WOHLTMANN (2009): The Mites (Chelicerata: Acari) of the Crenodat Project: Faunistic records and ecological Data from Springs in the autonomous Province of Trento (Italian Alps). In: *International Journal of Acarology* 35 (4), pp.303-333
- GERECKE, R., STOCH, F., MEISCH, C. & I. SCHRANKEL (2005): Die Fauna der Quellen und deshyporheischen Interstitials in Luxemburg. *Travaux scientifiques du Musée national d'histoire naturelle Luxembourg: Luxembourg.* (= Ferrantia 41)
- GIBERT, J. (1990): Groundwater systems and their boundaries: Conceptual framework and prospects in groundwater ecology. In: *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 24, S.1605-1608
- GIBERT, J., DOLE-OLIVER, M.-J., MARMONIER, P. & P. VERVIER (1991): Surface Water-Groundwater Ecotones. In: NAIMAN, R.J. & H. DÉCAMPS (Eds.) (1990): *The Ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones*, pp.199-225. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO): Paris. (= Man and the Biosphere Series 4)
- GIERE, O. (2009). *Meiobenthology. The microscopic motile fauna of aquatic sediments.* Springer: Berlin et al.
- GLAZIER, D.S. (1991): The fauna of North American temperate cold springs: patterns and hypotheses . In: *Freshwater Biology* 26, pp.527-542
- GLÖER, P. & C. MEIER-BROOK (2003): Süßwassermollusken. Ein Bestimmungsschlüssel für die Bundesrepublik Deutschland. DJN: Hamburg
- GOLDSCHMIDT, T. (2004): Environmental parameters determining water mite assemblages in Costa Rica. In: *Experimental and Applied Acarology* 34, pp. 171-197
- GÖLZ, E. (2006): Anforderungen an eine moderne Gewässermorphologie. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde, *Veranstaltungen* 1/2006, S.98-100
- GOOCH, J.L. & D.S. GLAZIER (1991): Temporal and spatial patterns in mid-Appalachian springs. In: *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 123 (155), pp.29-49
- GRÄSLE, W. & C. BEIERKUHNLEIN (1999): Temperaturen und Strahlungshaushalt von Waldquellen. In: BEIERKUHNLEIN, C. & T. Gollan (Hrsg.)(1999): *Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa.* Bayreuther Forum Ökologie, Band 71, S.77-85
- GRIEBLER, C. & F. MÖSSLACHER (Hrsg.) (2003): *Grundwasser-Ökologie.* Facultas: Wien. (UTB 2111)
- GRIMM, J., GRIMM, W. & H.-W. BARTZ (2004): *Deutsches Wörterbuch – Der digitale Grimm.* 2 CD-ROM, Version 12/04. Zweitausendeins: Frankfurt



- GROLL, M. & C. OPP (2008): Von der Gewässerbettmorphologie zum Makrozoobenthos - Untersuchung funktionaler Zusammenhänge an renaturierten Abschnitten der Lahn bei Marburg. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 52, S.18-22
- GROOTJANS, A., SWINKELS, J., GROENEWEG, M., WOLEJKO, L. & C. AGGENBACH (1999): Hydro-ecological aspects of a Polish spring mire complex (Diabli Skok). In: Crunoecia 6, pp.73-82
- GROSSMANN, M. & BIEHL, R. (2007): 10 Jahre Nationalpark Hainich. In: Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen, 44. Jhg., Heft 4 (Sonderheft), S.146-172
- GROSSMANN, M. (2006): Forschung im Nationalpark Hainich/Thüringen. In: Arbeitsgemeinschaft Standorts- und Vegetationskunde, Waldökologie online, Heft 3, S.63-66
- GUIDICELLI, J. & M. BOURNAUD (1997): Invertebrate Biodiversity in land-inland water ecotonal habitats. In: LACHAVANNE, J.-B. & R. JUGE (Eds.) (1997): Biodiversity in land-inland water ecotones, pp.143-160. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO): Paris. (= Man and the Biosphere Series 18)
- GÜMBEL, D. (1976): Emergenz-Vergleich zweier Mittelgebirgsquellen 1973. Schlitzer Produktionsbiologische Studien (18). In: Archiv für Hydrobiologie Supplement 50, S.1-53
- GÜNTHER, B. (2001): Wasserqualität an den Quellen der Wald- und Hauptmessstationen. In: LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT GOTHA (Hrsg.) (2001): Forstliches Umweltmonitoring in Thüringen, S.103-124
- HAEUPLER, H. (2002): Die Biotope Deutschlands. In: Schriftenreihe für Vegetationskunde 38, S.247-272
- HAHN, H. (1974): Vorgeschichtliche Ringwälle. In: SAUER, J.H. (Hrsg.) (1974): Die Rhön. Grenzland im Herzen Deutschlands, S.72-78. Parzeller: Fulda
- HAHN, H.-J. (2000): Studies on Classifying of Undisturbed Springs in Southwestern Germany by Macroinvertebrate Communities. In: Limnologia 30, pp.247-259
- HAMM, A. (1998): Kompartimente einer integrierten ökologischen Gewässerbewertung. In: Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 51, S.13-34
- HÄNGGI, A., STÖCKLI, E. & NENTWIG, W. (1995): Lebensräume mitteleuropäischer Spinnen: Charakterisierung der Lebensräume der häufigsten Spinnenarten Mitteleuropas und der mit diesen vergesellschafteten Arten. Centre Suisse de Cartographie de la Faune: Neuchâtel. (= Miscellanea Faunistica Helvetiae 4)
- HÄNSGEN, D., LENTZ, S. & S. TZSCHASCHEL (Hrsg.) (2010): Deutschlandatlas. Unser Land in 200 thematischen Karten. Wissenschaftliche Buchgesellschaft: Darmstadt
- HAO, Y., WANG, Y., ZHU, Y., LIN, Y., WEN, J.-C. & T.-C. J. YEH (2009): Response of karst springs to climate change and anthropogenic activities: the Niangziguan Springs, China. In: Progress in Physical Geography 33, pp.634-649
- HASEKE, H. & E. PRÖLL (2006): Das Berchtesgadener Quellwasser und seine Herkunft. Geologische, physikalisch-chemische und mikrobiologische Parameter. In: GERECKE, R. & H. FRANZ (2006): Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Lebensgemeinschaften als Indikatoren des Klimawandels. Nationalparkverwaltung Berchtesgaden: Berchtesgaden. (= Forschungsbericht 51/2006)
- HEBAUER, F. (1983): Käfer als Bioindikatoren – dargestellt am Ökosystem Bergbach. In: Laufener Seminarbeiträge ANL 7, S.55-65

- HEINLE, F.-X. & O. KÖNIG (2006): Wasserchemische Untersuchungen im Kalkquellmoor „Benninger Ried“ bei Memmingen, Bayern. In: *Lauterbornia* 57, S.21-25
- HEMPFLER, M. & S. STEINMETZ (2006): Die Heilquellen von Bad Wildungen und Umgebung. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden
- HENNIG, W. (1948): Die Larvenformen der Dipteren. 1. Teil. Akademie-Verlag: Berlin
- HENNIG, W. (1950): Die Larvenformen der Dipteren. 2. Teil. Akademie-Verlag: Berlin
- HERING, D., BUFFAGNI, A., MOOG, O., SANDIN, L., SOMMERHÄUSER, M., STUBAUER, I., FELD, C., JOHNSON, R., PINTO, P., SKOULIKIDIS, N., VERDONSCOT, P. & S. ZAHŘÁDKOVÁ (2003): The Development of a System to Assess the Ecological Quality of Streams Based on Macroinvertebrates – Design of the Sampling Programme within the AQEM Project. In: *International Review of Hydrobiology* 88, pp.345-361
- HERING, D., REICH, M. & H. PLACHTER (1993): Auswirkungen von gleichaltrigen Fichten-Monokulturen auf die Fauna von Mittelgebirgsbächen. In: *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 2, S.31-42
- HIEKEL, W., FRITZLAR, F., HAUPT, R., KLAUS, S., LAEPPE, U., NÖLLERT, A., REISINGER, A., STREMKE, A., WENZEL, H., WESTHUS, W. & J. WIESNER (1994): Naturschutz in Thüringen – Strategien, Konzepte, Projekte. Wissenschaftliche Beiträge zum Landesprogramm Thüringens. Thüringer Landesanstalt für Umwelt: Jena. (= Naturschutzreport Heft 7/2)
- HIEKEL, W., FRITZLAR, F., NÖLLERT, A. & W. WESTHUS (2004): Die Naturräume Thüringens. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie: Jena. (= Naturschutzreport Heft 21)
- HILDREW A.G. (1998): Physical habitat and the benthic ecology of streams and rivers. In: BRETSCHKO, G. & J. HELEŠIĆ (Eds.) (1998): *Advances in River Bottom Ecology*. Backhuys Publishers: Leiden
- HINTERLANG, D. (1992): Vegetationsökologie der Weichwassergesellschaften zentraleuropäischer Mittelgebirge. In: *Crunoecia* 1, S.5-177
- HLUG (2001) = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.): Umweltatlas Hessen. Aktualisierte CD-ROM-Version der gedruckten Loseblattsammlung von 1999. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden
- HLUG (2006) = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.)(2006): Gewässerkundliches Flächenverzeichnis von Hessen. CD-ROM. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden
- HLUG (2009) = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.)(2009): Gewässerkundlicher Jahresbericht 2008. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden. (= Hydrologie in Hessen, Heft 4)
- HOCKE, R. (1996): Naturwaldreservate in Hessen, Nr.5/1. Niddahänge östlich Rudingshain. Waldkundliche Untersuchungen. Hessische Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie: Wiesbaden. (= Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, Band 31)
- HOFFSTEN, P.-O. & B. MALMQUIST (2000): The macroinvertebrate fauna and hydrogeology of springs in central Schweden. In: *Hydrobiologia* 436, pp.91-104
- HOFMEISTER, H. (1997): Lebensraum Wald. Pflanzengesellschaften und ihre Ökologie. 4. Auflage. Parey: Berlin
- HÖLL, K. (2002): Wasser. Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung. 8. Auflage. De Gruyter: Berlin et al.

- HOLMBERG, A.G., ANGERILLI, N.P.D. & L.J. LACASSE (1984): Overwintering aggregations of *Leiobunum paessleri* in Caves and Mines (Arachnida, Opiliones). In: Journal of Arachnology 12, pp.195-204
- HÖLTING, B. & W.G. COLDEWEY (2009): Hydrogeologie. Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. Spektrum Akademischer Verlag: Berlin.
- HÖLTING, B. (1973): Hydrogeologie. In: HORN, M., KULICK, J. & D. MEISCHNER (1973): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt Nr. 4820 Bad Wildungen. S.270-306. Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Wiesbaden
- HÖLTING, B. (1985): Hydrogeologie. In: KUPFAHL, H.-G. (1985): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt 5018 Wetter (Hessen), S.103-125. Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Wiesbaden
- HOPPE, A. & G. MITTELBACH (1999): Geowissenschaftlicher Atlas von Hessen. Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Wiesbaden. (= Geologie in Hessen, Band 4/1999)
- HOPPE, A. & R. SCHULZ (2001): Die Forschungsbohrung Vogelsberg 1996 - Einführung und Ergebnisse. In: HOPPE, A. & R. SCHULZ (Hrsg.) (2001): Die Forschungsbohrung Vogelsberg 1996. Einblicke in einen miozänen Vulkankomplex, S.5-14. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden. (= Geologische Abhandlungen Hessen, Band 107)
- HORN, M., KULICK, J. & D. MEISCHNER (1973): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt Nr. 4820 Bad Wildungen. Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Wiesbaden
- HORN, R. (2011): Bearbeitung und Verdichtung von Böden. In: BLUME, H.-P., HORN, R. & S. THIELE-BRUHN (Hrsg.) (2010): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und Bodenbelastung. Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Wiley-VCH: Weinheim, S.170-198
- HOTZY, R. & J. RÖMHELD (2008): Aktionsprogramm Quellen in Bayern. Teil 3: Maßnahmenkatalog für den Quellschutz. Bayerisches Landesamt für Umwelt: Augsburg
- HOWEIN, H. & H. SCHRÖDER (2006): Geomorphologische Untersuchungen. In: GERECKE, R. & H. FRANZ (Hrsg.) (2006): Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Lebensgemeinschaften als Indikatoren des Klimawandels, S.71-86. Nationalparkverwaltung Berchtesgaden: Berchtesgaden. (= Forschungsbericht 51/2006)
- HUANG, Y., BRADFORD, P.W., STERN, L., H. PEROTTO-BALDIVIESO (2006): Springs on rangelands: runoff dynamics and influence of woody plant cover. In: Hydrological Processes 20, p.3277-3288
- HUTCHINSON, G.E. (1957): Concluding Remarks. In: Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology 22, pp.415-427
- HYNES, H.B.N. (1970): The Ecology of Running Waters. Liverpool University Press: Liverpool
- HYNES, H.B.N. (1975): The stream and its valley. In: Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 19, S.1-15
- ILLIES, J. & L. BOTOSANEANU (1963): Problèmes et methodes de la classification et de la zonation ecologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung: Stuttgart. (= Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie, Mitteilungen 12)
- ILLIES, J. (1952): Die Mölle. Faunistisch-ökologische Untersuchungen an einem Forellenbach im Lipper Bergland. In: Archiv für Hydrobiologie 46, S.424-612

- ILLIES, J. (1961): Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fließgewässer. In: International Revue der gesamten Hydrobiologie 46, 2, S.205-213
- ILLIES, J. (Hrsg.) (1978): Limnofauna europaea. Eine Zusammenstellung aller die europäischen Binnengewässer bewohnenden mehrzelligen Tierarten mit Angaben über ihre Verbreitung und Ökologie. Fischer: Stuttgart et al.
- ILMONEN, J. & L. PAASIVIRTA (2005): Benthic macrocrustacean and insect assemblages in relation to spring habitat characteristics: patterns in abundance and diversity
- ILMONEN, J. (2008): *Crunoecia irrorata* (Curtis) (Trichoptera: Lepidostomatidae) and conservation of boreal springs: indications of clustering of red-listed species. In: Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 18, pp.6-18
- ILMONEN, J., PAASIVIRTA, L., VIRTANEN, R. & T. MUOTKA (2009): Regional and local drivers of macroinvertebrate assemblages in boreal springs. In: Journal of Biogeography 36, pp.822-834
- JEDICKE, E. (1996): Brutvogelgemeinschaften in Buchen-Althölzern und –Schirmbestand im Krofdorfer Fort bei Gießen. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 115, S.163-173
- JENRICH, J. (2007): Die Wasserkuppe. Ein Berg mit Geschichte. Parzeller: Fulda
- JORDAN, H. & H.-J. WEDER (1995): Hydrogeologie. Grundlagen und Methoden - Regionale Hydrogeologie: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen. 2. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg
- JOST, I & C. OPP (2006): Konzeption eines Bodenlehrpfades auf Grundlage bodenkundlicher Untersuchungen im Forstrevier Münchhausen/Burgwald. In: Geologisches Jahrbuch Hessen 133/2005, S.95–108
- JUNGBLUTH, J.H. (1988): Zum Vorkommen der Quellschnecke *Bythinella dunkeri* (FRAUENFELD 1857) in der Eifel. In: Mitteilungen der Deutschen Malakozoologischen Gesellschaft 43, S.19-27
- JUNGWIRTH, M., HAIDVOGL, G., MOOG, O., MUHAR, S. & S. SCHMUTZ (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas: Wien. (= UTB 2113)
- KEILHACK, K. (1912): Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. Bornträger: Berlin
- KEIM, B., BARCZEWSKI, B. & M. JURASCHEK (1994): Überwachung von Wasserbeschaffenheit und Schüttung von Quellen – Aufbau der Pilotmessstationen und erste Ergebnisse aus dem Quellmessnetz Baden-Württemberg. In: Wasserwirtschaft 84, S.250-255
- KELLER, R. (1961): Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes. Eine Einführung in die Hydrogeographie. Haude und Spener'sche Verl.-Buchhandlung: Berlin
- KERN, K. (1994): Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung. Geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern. Springer: Berlin et al.
- KINZELBACH, R. (1992): Wasser: Biologie und Umweltqualität. In: BÖHM, H.R. & M. DENEKE (Hrsg.) (1992): Wasser. Einführung in die Umweltwissenschaften. Wissenschaftliche Buchgesellschaft: Darmstadt
- KLAUS, S., REISINGER, E., BIEHL, R., FRITZLAR, F., HAUPT, R., HIEKEL, W., NÖLLERT, A., WENZEL, H., WESTHUS, W. & J. WIESNER (1995): Der Hainich – ein Weltnaturerbe. In: Sonderheft Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen, 32, S.1-32.

- KLAUSING, O. (1988): Die Naturräume Hessens mit einer Karte der naturräumlichen Gliederung 1:200.000. Hessische Landesanstalt für Umwelt: Wiesbaden. (= Umweltplanung, Arbeits-Umweltschutz, Heft 67)
- KLEE, O. (1998): Wasser untersuchen. Einfache Analysemethoden und Beurteilungskriterien. Quelle und Meyer: Wiesbaden
- KLEYER, M., KRATZ, R., LUTZE, G. & B. SCHRÖDER (1999/2000): Habitatmodelle für Tierarten: Entwicklung, Methoden und Perspektiven für die Anwendung. In: Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 8, S.177-194
- KLINK, H.-J. (1969): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 112 Kassel. Geographische Landesaufnahme 1:200.000 Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung: Bad Godesberg
- KLÖS, W. (1984): Der Einfluss von Umweltfaktoren auf die Gewässergüte in den Quellbereichen hessischer Gewässer. In: WIETING, J. (1984): Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland: Ergebnisse und Wertung eines Statusseminars des Umweltbundesamtes in Zusammenarbeit mit dem. Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft vom 23. - 24. Februar 1984 in München, S.93-95. Umweltbundesamt: Berlin
- KNAPP, R. & K. ASTHALTER (1975): Forstliche Wuchsraum-Einheiten von Hessen. In: Oberhessische naturwissenschaftliche Zeitschrift, 42, S.13-20
- KONOLD, W. (2007): Die wasserabhängigen Landökosysteme. Gibt es gemeinsame Strategien von Wasserwirtschaft und Naturschutz zu deren Schutz und Erhalt? In: Hydrologie und Wasserwirtschaft 51, S.257-266
- KOOP, J.H.E. (2003): Gewässerstruktur und Biodiversität. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Veranstaltungen 7/2003, S.33-48
- KÖTT, A., NESBOR, D. & K.-H EHRENBURG (2001): Schichtenverzeichnis der Forschungsbohrung Vogelsberg 1996. In: HOPPE, A. & R. SCHULZ (Hrsg.) (2001): Die Forschungsbohrung Vogelsberg 1996. Einblicke in einen miozänen Vulkankomplex, S.15-47. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden. (= Geologische Abhandlungen Hessen, Band 107)
- KRAMER, H. & A. AKÇA (1995): Leitfaden zur Waldmesslehre. Sauerländer: Frankfurt am Main
- KRESIC, N. (2010): Types and Classification of Springs. In: Kresic, N. & Z. Stevanovic (Hrsg.) (2010): Groundwater Hydrology of Springs. Elsevier: Oxford
- KRÜGER, K. (1995): Quellbereiche im Land Brandenburg. In: Crunoecia 4, S.45-53
- KÜHLMANN, D., KILIAS, R., MORITZ, M. & M. RAUSCHERT (1993): Wirbellose Tiere Europas außer Insekten. Neumann Verlag: Radebeul
- KUPFAHL, H.-G. & W. ANDRES (1983): Die geologische und geomorphologische Entwicklung des Burgwaldes. In: Allgemeine Forstzeitschrift, H.35, S.876-879
- KUPFAHL, H.-G. (1985): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt 5018 Wetter (Hessen). Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Wiesbaden
- LACK, D. (1969): The number of bird species on islands. In: Bird Study 16, pp.193-209
- LAMOUREUX, N., DOLÉDEC, S. & S. GAYRAUD (2004): Biological traits of stream macroinvertebrate communities: effects of microhabitat, reach and basin filter. In: Journal of the North American Benthological Society 23, pp.449-466



- LASAR, R. (1989): Stygobionten und Stygophile in Quellbiotopen des Bergischen Landes. In: *Decheniana* 142, S.91-95
- LAUKÖTTER, G. (1994): Zurück zu den Quellen. Ökologie und Naturschutz hochsensibler Kleinbiotope. In: *LÖBF-Mitteilungen*, Nr.1/1994, S.10-17
- LAUKÖTTER, G., LISCHESKI, D. & D. HINTERLANG (1994): Quellschutz. Materialheft zur Kampagne und Diaserie Nr.5 des NZ NRW. Naturschutzzentrum Nordrhein-Westfalen bei der Landesanstalt für Ökologie, Landesentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen: Recklinghausen
- LAWA (1995) = LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (Hrsg.) (1995): Grundwasser. Richtlinien zur Beobachtung und Auswertung. Teil 4 – Quellen. LAWA: Berlin
- LEGENDRE, P. & E.D. GALLAGHER (2001): Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. In: *Oecologia* 129, pp.271-280
- LEIB, J. & H. UHLIG (1982): Exkursion 18 Krofdorfer Forst. In: SCHULZE, W. & H. UHLIG (Hrsg.) (1982): Giessener Geographischer Exkursionsführer. Mittleres Hessen. Band II Gießen und Umgebung, Wetterau, nordöstlicher Taunus. Brühlscher Verlag: Gießen
- LEIB, J. (1974): Krofdorf-Gleiberg zwischen Tradition und Fortschritt. Heimatbuch zur 1200-Jahrfeier der Gemeinde Krofdorf-Gleiberg. Gemeinde Krofdorf-Gleiberg: Gießen
- LENKENHOFF, P. & U. ROSE (2002): LAWA-Projekt G 1.01: Erfassung, Beschreibung und Bewertung grundwasserabhängiger Oberflächengewässer und Landökosysteme hinsichtlich vom Grundwasser ausgehender Schädigungen. Bericht zu Teil 1: Erarbeitung und Bereitstellung der Grundlagen und erforderlicher praxisnaher Methoden zur Typisierung und Lokalisation grundwasserabhängiger Oberflächengewässer und Landökosysteme. Erft-Verband: Bergheim
- LESER, H. (1997): Landschaftsökologie. Ulmer: Stuttgart. (= UTB 521)
- LEßMANN, B. (1997): Bericht zur Hydrogeologie des Vogelsberges. Stand: Dezember 1997. Unveröffentlichter Bericht Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Wiesbaden
- LEßMANN, B. (2001): Hydrochemische und isotopehydrologische Untersuchungen an Grundwässern aus dem Vogelsberg. In: *Grundwasser*, Vol.6, No.2, S.81-85
- LEßMANN, B., WIEGAND & K., H.-J. SCHARPFF (2001): Die Hydrogeologie des vulkanischen Vogelsberges. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden. (= Geologische Abhandlungen Hessen, Band 108)
- LEUNG, C.-M. & J.J. JIAO (2008): Temporal variations of physical and hydrochemical properties of springs in the Mid-Level area, Hong Kong: results of a 1-year comprehensive monitoring programme. In: *Hydrological Processes* 22, p.1080-1092
- LEYER, I. & K. WESCHE (2007): Multivariate Statistik in der Ökologie. Springer: Berlin
- LINDEGAARD, C., BRODERSEN, K.P., WIBERG-LARSEN, P. & J. SKRIVER (1998): Multivariate analyses of macrofaunal communities in Danish springs and springbrooks. In: BOTOSANEANU, L. (Ed.) (1998): *Studies in Crenobiology. The biology of springs and springbrooks*, pp.201-219. Backhuys Publishers: Leiden
- LINSMAIER, B. (1984): Physikalisch-chemische Untersuchungen von Quellgewässern verschiedener Bereiche Nordrhein-Westfalens und der mittleren Oberpfalz unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetallgehalte. Inaugural-Dissertation der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

- LISCHEWSKI, D. & G. LAUKÖTTER (1993): Quellenkartieranleitung. Anleitung zur Quellkartierung in Nordrhein-Westfalen. Naturschutzzentrum Nordrhein-Westfalen bei der Landesanstalt für Ökologie, Landesentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen: Recklinghausen
- LISCHEWSKI, D. (1999): Ein erster faunistischer Beitrag für einen nordrhein-westfälischen Quellatlas. In: *Crunoecia* 6, S.1-61
- LUCIUS, R. & B. LOOS-FRANK (2008): *Biologie von Parasiten*. Springer: Berlin et al.
- LUDWIG, H.W. (1989): *Tiere unserer Gewässer: Merkmale, Biologie, Lebensraum und Gefährdung*. BLV: München et al.
- LÜKEWILLE, A., SPÄH, H. & U. THESING (1984): Aluminiumhydroxidausfällungen in Quellbächen der Senne (Teutoburger Wald) als Folge saurer Niederschläge. In: WIETING, J. (1984): *Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland: Ergebnisse und Wertung eines Statusseminars des Umweltbundesamtes in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft vom 23. - 24. Februar 1984 in München*, S.106-120. Umweltbundesamt: Berlin
- MADER, D. (1984): Charakteristische Fossilien des europäischen Buntsandsteins. In: *Naturwissenschaften* 71, S.69-78.
- MANGA, M. (1999): On the timescales of characterizing groundwater discharge at springs. In: *Journal of Hydrology* 219, pp.56-69
- MANNSFELD, K. (1999): Naturraumpotentiale, Landschaftsfunktionen. In: BASTIAN, O. & K.F. SCHREIBER (Hrsg.) (1999): *Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft*, S.36-40. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg et al.
- MARCINEK, J. & E. ROSENKRANZ (1996): *Das Wasser der Erde: eine geographische Meeres- und Gewässerkunde*. Perthes: Gotha
- MARGALEF, D.R. (1958): Information theory in ecology. In: *General Systems* 3, 36-71
- MARTENS, J. (1978): *Spinnentiere, Arachnida - Weberknechte, Opiliones*. Die Tierwelt Deutschlands 64. G. Fischer: Jena
- MARTIN, P. (1998): *Zur Autökologie der Wassermilben (Hydrachnidia, Acari) zweier norddeutscher Tieflandbäche*. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- MARTIN, P., STUR, E. & S. WIEDENBRUG (2010): Larval parasitism of spring dwelling alpine water mites (Hydrachnidia, Acari): a study with particular reference to chironomid hosts. In: *Aquatic Ecology* 44, pp.431-448
- MARX, M.T. & A.L. SCHÖNHOFER (2005): Abundanz und Vikarianz epigäischer Weberknechtarten (Arachnida: Opiliones) in einem Auwaldgebiet des Mainzer Beckens. In: *Arachnologische Mitteilungen* 30, S.13-19
- MATTHEß, G. & K. UBELL (1983): *Allgemeine Hydrogeologie. Grundwasserhaushalt*. Bornträger: Berlin, Stuttgart (= Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 1)
- MATTSON, R.A., EPLER, J.H. & M.K. HEIN (1995): Description of Benthic Communities in Karst, Spring-Fed Streams of North Central Florida. In: *Journal of the Kansas Entomological Society* 68 (2) supplement, pp.18-41
- MAUDEN, R. (1994): Der Einfluss der Gewässerversauerung auf die Quellbachzoozönose. In: *LÖBF-Mitteilungen*, Nr.1/1994, S.24-28

- MAYER, H. (1984): Wälder Europas. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart et al.
- MEHL, D. & V. THIELE (1998): Fließgewässer- und Talraumtypen des Norddeutschen Tieflandes. Parey: Berlin
- MEIER, C., HAASE, P., ROLAUFFS, P., SCHINDEHÜTTE, K., SCHÖLL, F., SUNDERMANN, A. & D. HERING (2006): Methodisches Handbuch Fließgewässerbewertung. Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern auf der Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie. <http://www.fliessgewaesserbewertung.de>
- MEIJERING, M.P.D. (1984): Die Verbreitung von Indikatorarten der Gattung Gammarus im Schlitzerland (Osthessen) in 1968 und 1982. In: WIETING, J. (1984): Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland: Ergebnisse und Wertung eines Statusseminars des Umweltbundesamtes in Zusammenarbeit mit dem. Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft vom 23. - 24. Februar 1984 in München, S.96-105. Umweltbundesamt: Berlin
- MEINZER, O.E. (1927): Large Springs in the United States. Government Printing Office: Washington. (= Water-Supply Paper 557)
- MEISCHNER, D. (1991): Kleine Geologie des Kellerwaldes (Exkursion F am 5. April 1991). In: Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereines, N. F. 73, S.115-142.
- MEMON, B.A. (1995): Quantitative analysis of springs. In: Environmental Geology 26, pp.111-120
- MENDEL, H.G. (2000): Elemente des Wasserkreislaufs. Eine kommentierte Bibliographie zur Abflußbildung. Analytica: Berlin
- MERKEL, B.J. (1999): Qualität von Grundwasser und seine Beeinflussung. In: FRIMMEL, F.H. (Hrsg.) (1999): Wasser und Gewässer. Ein Handbuch. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg et al.
- MEYER, J.L., STREYER, D.L., WALLACE, J.B., EGGERT, S.L., HELFMAN, G.S. & N.E. LEONARD (2007): The Contribution of Headwater Streams to Biodiversity in River Networks. In: Journal of the American Water Resources Association 43, pp.86-103
- MEYNEN, E. & J. SCHMITHÜSEN (Hrsg.) (1953): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. 1. Lieferung. Bundesanstalt für Landeskunde u. Raumforschung: Bad Godesberg
- MODER, F. (2007): Impulse, Steuerungsmöglichkeiten und Hemmnisse der touristischen Entwicklung der Nationalparkregion Hainich. In: BIOSPHÄRENRESERVAT VESSERTAL-THÜRINGER WALD (Hrsg.) (2007): Besuchermonitoring und ökonomische Effekte in Nationalen Naturlandschaften – Tagungsband 2006, S.96-101. Biosphärenreservat Vessertal-Thüringer Wald: Schmiedefeld am Rennsteig
- MÖLDER, A., BERNHARD-RÖMERMANN, M. & W. SCHMIDT (2006): Forest ecosystem research in Hainich National Park (Thuringia): First results on flora and vegetation in stands with contrasting tree species diversity. In: Arbeitsgemeinschaft Standorts- und Vegetationskunde, Waldökologie online, Heft 3, S.83-99
- MÖLDER, A., BERNHARD-RÖMERMANN, M. & W. SCHMIDT (2008): Vielfältige Baumschicht - reichhaltige Verjüngung? Zur Naturverjüngung von artenreichen Laubwäldern im Nationalpark Hainich. In: Allgemeine Jagd- und Forstzeitschrift, 180. Jhg., Heft 3/4, S.76-87
- MOOG, O. & U. GRASSER (1992): Makrozoobenthos-Zönosen als Indikatoren der Gewässergüte und ökologische Funktionsfähigkeit der Unteren Traun. In: Kataloge des Oberösterreichischen Landesmuseums N.F. 54, S.109-158

- MOOG, O. (Hrsg.) (2002): Fauna Aquatica Austriaca. Lieferung 2 – Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft: Wien
- MORAW, P. (1999): Wetterau und Vogelsberg in der älteren deutschen Geschichte. In: STOBBE, R. (Hrsg.) (1999): Geschichte von Wetterau und Vogelsberg. Band I. Von den Anfängen bis zum Ende des Mittelalters, S.13-36. Verlag der Bindernagelschen Buchhandlung: Friedberg
- MORRISON, M.L., MARCOT, B.G. & R.W. MANNAN (2006): Wildlife-habitat relationships. Concepts and Applications. Island Press: Washington et al.
- MÖSSLACHER, F. & C. GRIEBLER (2003): Grundwasser, der unbekannte Lebensraum. In: GRIEBLER, C. & F. MÖSSLACHER (Hrsg.) (2003): Grundwasser-Ökologie. Facultas: Wien, S.19-43
- MÖSSLACHER, F. & H.-J. HAHN (2003): Die Fauna. In: GRIEBLER, C. & F. MÖSSLACHER (Hrsg.) (2003): Grundwasser-Ökologie. Facultas: Wien, S.159-208
- MOTHES-WAGNER, U. (1996): Naturschutz- und Entwicklungskonzept Burgwald. Selbstverlag der HGON: Wohratal/Wetter
- MTVO (2006) = Mineral- und Tafelwasser-Verordnung vom 1. August 1984 (BGBl. I S. 1036), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 1. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2762) geändert worden ist
- MÜHLENBERG, M. (1993): Freilandökologie. Quelle & Meyer: Heidelberg et al.
- MÜLLER, F. (1999): Ökosystemare Modellvorstellungen und Ökosystemmodelle in der Angewandten Landschaftsökologie. In: SCHNEIDER-SLIWA R., SCHAUB, D. & G. GEROLD (Hrsg.) (1999): Angewandte Landschaftsökologie. Grundlagen und Methoden, S.25-46. Springer: Berlin et al.
- MÜLLER, G., GÄTH, S. & H.-G. FREDE (1995): Zur Schüttungs- und Nitratdynamik von Quellen in Wasserschutzgebieten Nord-Ost-Hessens. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 76, S.1349-1352
- MÜLLER, H.J. (1988): Ökologie. Gustav Fischer Verlag: Jena
- NAIMAN, R.J. & H. DÉCAMPS (Eds.) (1990): The Ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO): Paris. (= Man and the Biosphere Series 4)
- NAUMANN, E. (1907): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Blatt Mihla (Berka v.d.Hainich). Königlich Geologische Landesanstalt: Berlin
- NEBE W. & M. ABIY (2002): Chemie von Quellwässern in bewaldeten Einzugsgebieten des Erzgebirges. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 121, S.1-14
- NEEF, E. (1963): Topologische und chorologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung. In: Petermanns Geographische Mitteilungen 107, S.249-259
- NEEF, E. (1967): Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. Haack: Gotha
- NEHRING, S. & U. ALBRECHT (1997): Benthos und das redundante Benthon: Neologismen in der deutschsprachigen Limnologie. In: Lauterbornia 31, S.17-30
- NEHRING, S. & U. ALBRECHT (2000): Biotop, Habitat, Mikrohabitat. Ein Diskussionsbeitrag zur Begriffsdefinition. In: Lauterbornia 38, S.75-84

- NESEMANN & REISCHÜTZ (2002): Mollusca: Gastropoda (Schnecken) – Teil III, 19 Seiten. In: MOOG, O. (Hrsg.) (2002): Fauna Aquatica Austriaca. Lieferung 2 – Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft: Wien
- NESTEROVICH, A. (1996): Studies of the fauna of Belarusian Springs. In: Crunoecia 5, pp.79-85
- NEUMANN, A. (1981): Die Invertebratenfauna von Bächen und Quellen des Raumes Eitorf (Sieg). In: Decheniana 134, S.244-259
- NEUMEISTER, H. (1999): Heterogenität – Grundeigenschaften der räumlichen Differenzierung in der Landschaft. In: MANNSFELD, K. & H. NEUMEISTER (Hrsg. (1999): Ernst Neefs Landschaftslehre heute, S.89-106. Klett-Perthes: Gotha et al.
- NICKEL, C. (2007): Wall-Graben-Strukturen im Krofdorfer Forst bei Krofdorf-Gleiberg, Gemeinde Wettenberg. In: Hessen Archäologie, Jahrbuch 2006, S.76-78
- NITSCHKE, S. & L. NITSCHKE (2009): Naturschutzgebiete in Hessen schützen, erleben, pflegen Band 5. Landkreis Marburg-Biedenkopf, Lahn-Dill-Kreis, Landkreis Gießen. Cognitio: Niedenstein
- NLP (2008) = NATIONALPARKAMT KELLERWALD-EDERSEE (Hrsg.) (2008): Nationalparkplan für den Nationalpark Kellerwald-Edersee. Stand: Dezember 2008. Federführend: Achim Frede. Nationalparkamt Kellerwald-Edersee: Bad Wildungen
- NW-FVA (2009) = NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT (Hrsg.) (2009): Hessische Naturwaldreservat im Portrait. Niddahänge östlich Rudingshain. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt: Göttingen
- OBST, J. (1960): Kulturlandveränderungen im oberen Vogelsberg. Ackerschwind-Grünfallen-Auffichten. Inaugural-Dissertation, Philosophische Fakultät, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main
- ODUM, E.P. (1971): Fundamentals of Ecology. Saunders: Philadelphia et al.
- OPP, C. (1999): Bodenverdichtungen. In: BASTIAN, O. & K.F. SCHREIBER (Hrsg.) (1999): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg et al., S. 225-231
- OPP, C. (2000): Geographische Umweltforschung. Ansätze, ausgewählte Ergebnisse, Perspektiven. In: Marburger Geographische Gesellschaft Jahrbuch 1999, S.254-264
- OPP, C. (2005): Bodenentwicklung und Bodenvergesellschaftung auf Buntsandstein im Burgwald. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 105, Exkursionsführer, S.178-181
- ORENDT, C. & J. SCHLIEF (1999): Makroinvertebraten-Mikrohabitate in Bächen – Kartierung und Auswertung. In: KAPFER, M & B. NIXDORF (Hrsg.) (1999): Gewässerreport Nr.5 – Methoden der limnologischen Untersuchung und Bewertung von Stand- und Fließgewässern, S.27-41. (= Aktuelle Reihe 1/99, BTU Cottbus)
- ORENDT, C. & U. REINHART (1997): The distribution of Gammarus pulex (L.), Asellus aquaticus L. and Pisidium sp. in an acidified forest brook and some tributary springs in assessing the local state of acidity a small scale level. In: Limnologica 27, p.271-280
- OTTO, A. & W. REH (1999): Gewässerstruktur. Untersuchungen zur Analyse und zur Bewertung der ökomorphologischen Struktur von Fließgewässern. Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz: Mainz
- OTTO, A. (1991): Grundlagen einer morphologischen Typologie der Bäche. In: Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe 180, S.1-94



- PANEK, N. (2006): Kellerwald und Edersee. Natur- und Kulturführer. Nationalpark-Region Kellerwald-Edersee mit Kellerwaldsteig. Cognitio: Niedenstein
- PATZELT, G. (1998): Der Hainich. Verlag F.W. Cordier: Heiligenstadt
- PÄZOLT, J. (2005): Hydrologie und Phosphorhaushalt eines druckwassergespeisten Quellmoores. Shaker Verlag: Aachen
- PETERS, U. (1988): Pflanzenökologische und bodenkundliche Untersuchungen an Quellwaldstandorten in Bochum. Schweizerbart: Stuttgart. (= Dissertationes Botanicae 122)
- PETERS, W. (2003): Tiergeographie. In: DETTNER, K. & W. PETERS (Hrsg.) (2003): Lehrbuch der Entomologie. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg, Berlin
- PFEFFER, K.-H. (1978): Karstmorphologie. Wissenschaftliche Buchgesellschaft: Wiesbaden. (= Erträge der Forschung 79)
- PIECHOCKI, R. & J. HÄNDEL (2007): Makroskopische Präparationstechnik. Wirbellose. Leitfaden für das Sammeln, Präparieren und Konservieren. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung: Stuttgart
- PIELOU, E.C. (1966): The Measurement of Diversity in different Types of Biological Collections. In: Journal of Theoretical Biology 13, pp.131-144
- PINTER, I. (1998): Integrierte ökologische Bewertung – Ansätze und Konzeption der LAWA. In: Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 51, S.146-157
- PLACHTER, H. (1991): Naturschutz. Gustav Fischer: Stuttgart. (= UTB 1563)
- PLETSCH, A. (1991): Geographisch-landeskundliche Erläuterungen zur Topographischen Karte 1:50.000 Blatt Marburg (L 5118). In: MARBURGER GEOGRAPHISCHE GESELLSCHAFT (Hrsg.) (1991): Jahrbuch 1990, S.76-98.
- POOLE, G.C. (2002): Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. In: Freshwater Biology 47, pp.641-660
- POTT, R. & REMY, D. (2000): Gewässer des Binnenlandes. Ulmer: Stuttgart
- POTT, R. (1992): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. Ulmer: Stuttgart
- POTTGIESSER, T. & M. SOMMERHÄUSER (2006): Aktualisierung der Steckbriefe der bundesdeutschen Fließgewässertypen. Erste Überarbeitung Stand November 2006. Umweltbüro Essen
- PRITCHARD, G. (1991): Insects in thermal springs. In: WILLIAMS, D.D. & H.V. DANKS (Eds.) (1991): Arthropods of springs, with particular reference to Canada. Memoirs of the Entomological Society of Canada No. 155, pp.89-106
- PUHE, J. & B. ULRICH (1985): Chemischer Zustand von Quellen im Kaufunger Wald. In: Archiv für Hydrobiologie 102, S.331-342
- REEH, H. (2008): Zeitliche Einordnung und Deutung von Ortsnamen im Dünsbergland / Gleiberger Land sowie ein Versuch, einige Berg- und Ortsnamen neu zu deuten. In: Mitteilungen des Oberhessischen Geschichtsvereins Gießen, 93. Band, S.61-82.
- REISS, M. & C. OPP (2004): Ein Erfassungs- und Bewertungsverfahren der Gewässerstrukturgüte von Quellen und Quellbächen. In: OPP, C. (Hrsg.) (2004): Wasserressourcen – Nutzung und Schutz. Selbstverlag Marburger Geographische Gesellschaft e.V.: Marburg. (= Marburger Geographische Schriften 140)

- REISS, M. & S. ZAENKER (2007): Quellen in der Rhön – eine faunistisch-ökologische Erfassung im Biosphärenreservat Rhön. In: Beiträge Region und Nachhaltigkeit 4/2007, S.153-163
- REISS, M. & S. ZAENKER (2008): Die Romersbergquelle – Betrachtung eines Kleinstlebensraums. In: Beiträge zur Naturkunde in Osthessen, Band 44, S.45-54
- REISS, M. (2002): Zur Erfassung und Bewertung von Quellen, dargestellt an einem Beispielgebiet im Hohen Vogelsberg. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich Geographie der Philipps-Universität Marburg
- REMANE, A. (1940). Einführung in die zoologische Ökologie der Nord- und Ostsee. In: GRIMPE, G. & E. WAGLER (Hrsg.) (1940): Tierwelt der Nord- und Ostsee 1, S.1-238. Akademische Verlagsgesellschaft: Leipzig
- RESSL, F. & M. BEIER (1958): Zur Ökologie, Biologie und Phänologie der heimischen Pseudoskorpione. In: Zoologisches Jahrbuch Abteilung für Systematik, Geographie und Biologie der Tiere 86, S.1-26
- RICHTER, H. (1962): Eine neue Methode der großmaßstäbigen Kartierung des Reliefs. In: Petermanns Geographische Mitteilungen 106, S. 309-312
- RICHTER, W. & W. LILLICH (1975): Abriß der Hydrogeologie. Schweizerbart: Stuttgart
- ROBINSON, C.T., SCHMID, D., SVOBODA, M. & S.M. BERNASCONI (2008): Functional measures and food webs of high elevation springs in the Swiss alps. In: Aquatic Sciences 70, pp.432-445
- ROCA, J.R. & A. BALTANÁS (1993): Ecology and Distribution of Ostracoda in Pyrenean Springs. In: Journal of Crustacean Biology 13, pp.165-174
- ROCA, J.R. (1990): Tipología físico-química de las fuentes de los Pirineos Centrales: síntesis regional. In: Limnetica 6, pp.57-77
- RÖLL, W. (1969): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 126 Fulda. Geographische Landesaufnahme 1:200.000 Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung: Bad Godesberg
- RONDE, G. (1957): Studien zur Waldbodenkleinfafa. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 76, S.95-126
- ROSNER, H.-J. (1997): Verarbeitung geographischer Daten. Methodische Bausteine zu Statistik und GIS. Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität Tübingen. (= Kleinere Arbeiten aus dem Geographischen Institut der Universität Tübingen, H.16)
- ROTHER, P. (1994): Gesteine. Entstehung, Zerstörung, Umbildung. Wissenschaftliche Buchgesellschaft: Darmstadt
- ROTHER, P. (2006): Die Geologie Deutschlands. 48 Landschaften im Portrait. Wissenschaftliche Buchgesellschaft: Darmstadt
- ROTHMALER, W. (2000): Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Kritischer Band. Spektrum Akademischer Verlag: Berlin
- RP GIEßEN (1998) = REGIERUNGSPRÄSIDIUM GIEßEN, OBERE NATURSCHUTZBEHÖRDE (Hrsg.)(1998): Landschaftsrahmenplan Mittelhessen 1998. Regierungspräsidium Gießen, Obere Naturschutzbehörde: Gießen

- RP KASSEL (2001) = REGIERUNGSPRÄSIDIUM KASSEL (Hrsg.)(2001): Landschaftsrahmenplan Nordhessen 2000. Online-Version der Druckfassung: <http://beihilfe.rp-kassel.de/static/themen/naturschutz/lrp2000/index.htm>
- RP KASSEL (2004) = REGIERUNGSPRÄSIDIUM KASSEL (Hrsg.) (2004): Umsetzung der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH) und der Vogelschutz-Richtlinie in Hessen. Gebietsmeldung im Regierungsbezirk Kassel. Regierungsbezirk Kassel: [http://141.90.2.24/static/themen/naturschutz/ffh/detailkarten\\_vsg.htm](http://141.90.2.24/static/themen/naturschutz/ffh/detailkarten_vsg.htm)
- RÜHL, A. (1967): Das Hessische Bergland. Eine forstlich-vegetationsgeographische Übersicht. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung: Bad Godesberg. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde, Band 161)
- RUMM, P. (1999): Untersuchungen zum Abbau partikulärer organischer Substanzen in einem Langsandsfilter durch Metazoen am Beispiel von *Niphargus fontanus*. Dissertation, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg
- RUTHSATZ, B. & I. HOLZ (1997): Dauerbeobachtung von Vegetation und Quellwasserchemismus im „Palmbruch“ und „Oberluderbruch“ des NSG „Hangbrücher bei Morbach“/Hunsrück. Ableitung von Schutz- und Monitoringkonzepten. In: Decheniana 150, S.109-168
- RUTTE, E. (1974): Hundert Hinweise zur Geologie der Rhön. Delp: München.
- SABEL, K.-J. (2005): Die Bodenlandschaften Hessens. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 105, S.21-27.
- SANDNER, G. (1956): Der Kellerwald und seine Umrahmung. Eine geomorphologische Untersuchung. Geographisches Institut der Universität Marburg: Marburg. (= Marburger Geographische Schriften, Band 4)
- SANDNER, G. (1960): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 125 Marburg. Geographische Landesaufnahme 1:200.000 Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung: Bad Godesberg
- SARI, P.K. & O. KÜLKÖYLÜOĞLU (2008): Comparative ecology of Ostracoda (Crustacea) in two rheocene springs (Bolu, Turkey). In: Ecological Research 23, pp.821-830
- SÄRKKÄ, J., LEVONEN, L. & J. MÄKELÄ (1997): Meiofauna of springs in Finland in relation to environmental factors. In: Hydrobiologia 347, p.139-150
- SCHABER-SCHORR, G. (2007): Kleine Gewässerläufe im Wald – Grundlagen für den Erhalt und die Entwicklung naturnaher Bachläufe in bewirtschafteten Wäldern. Institut für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. (= culterra 49)
- SCHAEFER, M. (2006): Brohmer: Fauna von Deutschland. Ein Bestimmungsbuch unserer heimischen Tierwelt. Quelle & Meyer: Wiebelsheim
- SCHELER, B., PAAR, U., SCHÖNFELDER, E., SCHMIDT, M., GAWEHN, P. & J. EICHHORN (2005): Das forsthydrologische Forschungsgebiet Krofdorfer Forst. Unveröffentlichter Exkursionsführer Hessen-Forst
- SCHINDLER, H. & W. FREY (2002): Quelltypenatlas. Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz: Mainz. (= Grundlagen der Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz, Heft 2)
- SCHINDLER, H. (2004): Bewertung der Auswirkungen von Umweltfaktoren auf die Struktur und Lebensgemeinschaften von Quellen in Rheinland-Pfalz. Dissertation im Institut für Biologie der Universität Koblenz-Landau. Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, Universität Kaiserslautern: Kaiserslautern. (= Berichte 17)

- SCHLEGEL, D. & T. BLICK (1991): Pseudoskorpione an Waldrändern bei Feuchtwangen. In: *Arachnologische Mitteilungen* 1, S. 87-88
- SCHMEDTJE, U. & F. KOHMANN (1992): Bestimmungsschlüssel für die Saprobier-DIN-Arten (Makroorganismen). Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: München. (= Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 2/88)
- SCHMEDTJE, U. & M. COLLING (1996): Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: München. (= Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 4/96)
- SCHMIDT, M. (1993): Hydraulik. In: BRETSCHNEIDER, H., LECHER, K. & M. SCHMIDT (Hrsg.) (1993): *Taschenbuch der Wasserwirtschaft*. Parey: Hamburg et al.
- SCHMITHÜSEN, J. (1949): Grundsätze für die Untersuchung und Darstellung der naturähnlichen Einheiten. In: *Berichte zur Deutschen Landeskunde* VI, S.8-19
- SCHOEN, R., WRIGHT, R. & M. KRIETER (1984): Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland. Erster regionaler Überblick. In: *Naturwissenschaften* 71, S.95-97
- SCHÖNBORN, W. (2003): *Lehrbuch der Limnologie*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung: Stuttgart
- SCHÖNHOFER, A.L. (2005): Mittel- und Nordeuropäische Weberknechte aus dem Senckenberg Museum Frankfurt (Arachnida: Opiliones). In: *Arachnologische Mitteilungen* 30, S.25-31
- SCHOTTLER, W. (1931): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen im Maßstab 1:25.000 Blatt Ulrichstein. Hessischer Staatsverlag: Darmstadt
- SCHRADER, L. (1985): Böden. In: KUPFAHL, H.-G. (1985): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt 5018 Wetter (Hessen), S.93-102. Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Wiesbaden
- SCHRAFT, A., FRITSCHKE, J.-G., HEMFLER, M., MITTELBACH, G., RAMBOW, D. & H. TANGERMANN (2002): Die hydrogeologischen Einheiten Nordhessens, ihre Grundwasserneubildung und ihr nutzbares Grundwasserdargebot (Ldkrs. Waldeck-Frankenberg, Kassel, Schwalm-Eder, Werra-Meißner, Hersfeld-Rotenburg, Fulda und Stadt Kassel). In: *Geologisches Jahrbuch Hessen* 129/2001, S.27-53
- SCHREIBER, K.-F. & C. OPP (1999): Historische Entwicklung der Landschaftsökologie. In: BASTIAN, O. & K.F. SCHREIBER (Hrsg.) (1999): *Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft*, S.29-31. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg et al.
- SCHRÖDER, B. (2006): Pattern, process, and function in landscape ecology and catchment hydrology – how can quantitative landscape ecology support predictions in ungauged basins? In: *Hydrology and Earth System Sciences* 10, pp.967-979
- SCHRÖDER, H., HOWEIN, H. & R. GERECKE (2006): Quelltypen und Quellfauna. In: GERECKE, R. & H. FRANZ (Hrsg.) (2006): *Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Lebensgemeinschaften als Indikatoren des Klimawandels*, S.214-220. Nationalparkverwaltung Berchtesgaden: Berchtesgaden. (= Forschungsbericht 51/2006)
- SCHULZ, U. (1996): Vorkommen und Habitatanforderungen von Bodenmakroarthropoden in Natur- und Wirtschaftswäldern: ein Vergleich. Dissertation Forstwissenschaftliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München
- SCHULZE, W. (1959): Die Oberflächenformen des Vogelsberges. Marburger Geographische Gesellschaft: Marburg (= Marburger Geographische Schriften, Heft 13)

- SCHULZE, W. (1961): Zur Morphogenese des Vogelsberges. In: Petermanns Geographische Mitteilungen 1, S.9-15
- SCHULZE, W. (1982): Der Vogelsberg; wirtschafts-, sozial- und historisch-geographische Strukturen eines Hessischen Basaltgebirges einschließlich der Städte Herbstein, Schotten, Alsfeld und Lauterbach. In: SCHULZE, W. & H. UHLIG (Hrsg.) (1982): Gießener Exkursionsführer Mittleres Hessen. Band III. Vogelsberg, Rhön und nördliches Mittelhessen. Brühlscher Verlag: Gießen
- SCHWENZER, B. (1968): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 140 Schweinfurt. Geographische Landesaufnahme 1:200.000 Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung: Bad Godesberg
- SCHWERDTFEGER, F. (1979): Ökologie der Tiere Band 2. Demökologie. Struktur und Dynamik tierischer Populationen. Parey: Hamburg et al.
- SCHWOERBEL, J. (1959): Ökologische und tiergeographische Untersuchungen über die Milben (Acari, Hydrachnellae) der Quellen und Bäche des südlichen Schwarzwaldes und seiner Randgebiete. In: Archiv für Hydrobiologie 24, 385-546
- SEIFFERT, P., SCHWINEKÖPER, K. & W. KONOLD (1994): Analyse und Entwicklung von Kulturlandschaften. Das Beispiel Westallgäuer Hügelland. Ecomed: Landsberg
- SEMME, A. (1973): Böden. In: HORN, M., KULICK, J. & D. MEISCHNER (1973): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt Nr. 4820 Bad Wildungen. S.307-313. Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Wiesbaden
- SEMME, A. (1991): Relief, Gestein, Boden. Grundlagen der Physischen Geographie I. Wissenschaftliche Buchgesellschaft: Darmstadt
- SEMME, A. (1998): Lockerbraunerde, periglaziale Solifluktsdecken und holozäne Kolluvien im Oberwald (Hoher Vogelsberg). In: Eiszeitalter und Gegenwart 48, S.67-71
- SHANNON, C.E. & W. WEAVER (1949): The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press: Urbana
- SHUSTER, E.T. & W.B. WHITE (1971): Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: a possible means for characterizing carbonate aquifers. In: Journal of Hydrology 14, pp.93-128
- SIGG, L. & W. STUMM (1994): Aquatische Chemie. Eine Einführung in die Chemie wässriger Lösungen und natürlicher Gewässer. 3. Auflage. Verlag der Fachvereine et al.: Zürich et al.
- SMITH, H. (2002): The Hydro-Ecology of Limestone Springs in the Wye Valley, Derbyshire. In: Water and Environment Journal 16, pp.253-259
- SMITH, H., WOOD, P.J. & J. GUNN (2003): The influence of habitat structure and flow permanence on invertebrate communities in karst spring systems. In: Hydrobiologia 510, pp.53-66
- SMITH, T.M. & R.L. SMITH (2009): Ökologie. 6.Auflage. Pearson Studium: München et al.
- SOBOTH, E. (1978): Lang- und kurzperiodische Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit und der Quellschüttung während 20jähriger Beobachtungen in der Frankenger Bucht (Hessen). Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Wiesbaden. (= Geologische Abhandlungen Hessen, Band 77)
- SOLLMANN, A., LAMM, E. & M. SOLLMANN (2003): Naturpark Kellerwald-Edersee. Entwicklungsplanung. Band 1. Bestandsanalyse. Oktober 2003. Gutachten für den Zweckverband Naturpark Kellerwald-Edersee. Bad Wildungen



- SOMMERHÄUSER, M. & H. SCHUHMACHER (2003): Handbuch der Fließgewässer Norddeutschlands. Typologie, Bewertung, Management. Atlas für die limnologische Praxis. Ecomed: Landsberg
- SOULSBY, C., MALCOM, R., HELLIWELL, R. & R.C. FERRIER (1999): Hydrogeochemistry of montane springs and their influence on streams in the Cairngorm mountains, Scotland. In: *Hydrology and Earth System Science* 3, pp.409-419
- SOUTHWOOD, T.R.E. (1977): Habitat, the Templet for Ecological Strategies? In: *Journal of Animal Ecology*, Vol. 46, No. 2, pp. 337-365
- SPITALE, D. (2007): Assessing the ecomorphology of mountain springs: suggestions from a survey in the south-eastern Alps. In: CANTONATI, M., BERTUZZI, E. & D. SPITALE (Eds.) (2007): *The spring habitat: biota and sampling methods*. Museo Tridentino di Scienze Naturali: Trento. (= Monografie del Museo Tridentino di Scienze Naturali 4)
- SPRINGER, A.E. & L.E. STEVENS (2009): Spheres of discharge of springs. In: *Hydrogeology Journal* 17, pp.83-93
- SSYMANK, A., HAUKE, U., RÜCKRIEM, C. & E. SCHRÖDER (1998): Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und der Vogelschutz-Richtlinie. Bundesamt für Naturschutz: Bad Godesberg. (= Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 53)
- STAUDACHER, K. & L. FÜREDER (2006): Die Entomofauna ausgewählter Quellen der Schütt (Kärnten). In: *Entomologica Austriaca* 13, S.47-56
- STAUDACHER, K. & L. FÜREDER (2007): Habitat Complexity and Invertebrates in Selected Alpine Springs (Schütt, Carinthia, Austria). In: *International Review of Hydrobiology* 92, pp.465-479
- STEINHARDT, U. & M. VOLK (2000): Von der Makropore zum Flusseinzugsgebiet - hierarchische Ansätze zum Verständnis des landschaftlichen Wasser- und Stoffhaushaltes. In: *Petermanns Geographische Mitteilungen* 144, S.80-91
- STEINMANN, P. (1907): Die Tierwelt der Gebirgsbäche. Eine faunistisch-biologische Studie. In: *Annales de Biologie Lacustre* 2, S.30-150
- STEINMANN, P. (1908): Die Tierwelt der Gebirgsbäche. In: *Archiv für Hydrobiologie* 3, S.266-273
- STEINMANN, P. (1915): *Praktikum der Süßwasserbiologie*. I. Teil: Die Organismen des fließenden Wassers. Borntraeger: Berlin
- STINY, J. (1933): *Die Quellen. Die geologischen Grundlagen der Quellenkunde für Ingenieure aller Fachrichtungen sowie für Studenten der Naturwissenschaften*. Springer: Wien
- STRÄTZ, C. & J. MÜLLER (2006): Zur Bedeutung von Nadel- und Laubtotholz in kollinen Buchenwäldern für Landgastropoden am Beispiel des Wässernachtals, Nordbayern. In: *Waldoekologie online* 3, S.43-55
- SUCCOW, M. & L. JESCHKE (1990): *Moore in der Landschaft. Entstehung, Haushalt, Lebewelt, Verbreitung; Nutzung und Erhaltung der Moore*. 2. Auflage. Urania-Verlag: Leipzig et al.
- SYRBE, R.-U. (1999): Naturraumkartierung. In: BASTIAN, O. & K.F. SCHREIBER (Hrsg.) (1999): *Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft*, S.170-176. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg et al.
- SYRBE, R.-U. / RÖDER, M. & BASTIAN, O. (2001): Regionalisierungsansätze in der Landschaftsbewertung – dargestellt am Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet. In: *Berichte zur deutschen Landeskunde* 75, S.67-89

- TEGELER, R. (1994): Waldentwicklung im Hohen Vogelsberg. Sauerländer: Frankfurt am Main. (=Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, 28)
- THEWS, J.-D. (1996): Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte von Hessen 1:300.000 (GÜK 300 Hessen). Teil I: Kristallin, Ordoviz, Silur, Devon, Karbon. Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Wiesbaden. (= Geologische Abhandlungen Hessen, Band 96)
- THIENEMANN, A. (1906): Planaria alpina auf Rügen und die Eiszeit. In: Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft 10, S.381-462
- THIENEMANN, A. (1922): Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen (I-IV). In: Archiv für Hydrobiologie 14, S.151-190
- THIENEMANN, A. (1924): Die Gewässer Mitteleuropas. Eine hydrobiologische Charakteristik ihrer Haupttypen. Schweizerbart: Stuttgart. (=Handbuch der Binnenfischerei Mitteleuropas 1,1)
- THIENEMANN, A. (1925): Der See als Lebensgemeinschaft. In: Die Naturwissenschaften, 13.Jhg., Heft 27, S.589-600
- THIENEMANN, A. (1926): Hydrobiologische Untersuchungen an den kalten Quellen und Bächen der Halbinsel Jasmund auf Rügen. In: Archiv für Hydrobiologie 17, 221-336
- THOMSON, J.R., TAYLOR, M.P., FRYIRS, K.A. & G.J. BRIERLEY (2001): A geomorphological framework for river characterization and habitat assessment. In: Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 11, pp.373-389
- THORUP, J. & C. LINDEGAARD (1977): Studies in Danish springs. In: Folia Limnologica Scandinavica 17, pp.7-15
- TICHY, H. (1972): Das Tömösvárysche Sinnesorgan des Hundertfüßers *Lithobius forticatus* – ein Hygrorezeptor. In: Naturwissenschaften 59, S.315
- TICHY, L. (2002): Juice, software for vegetation classification. In: Journal of Vegetation Science 13, pp.451-453
- TIETZE, K.-W. (1982): Zur Geometrie einiger Flüsse im Mittleren Buntsandstein (Trias). In: Geologische Rundschau, 71, 3, S.818-828.
- TIMM, T. & M. SOMMERHÄUSER (1993): Bachtypen im Naturraum Niederrheinische Sandplatten – Ein Beitrag zur Typologie der Fließgewässer des Tieflandes. In: Limnologica 23, pp.381-394
- TOWNSEND, C.R. & HILDREW, A.G. (1994): Species traits in relation to a habitat templet for river systems
- TOWNSEND, C.R. (1989): The patch dynamics concept of stream community ecology. In: Journal of the North American Benthological Society 8, pp.36-50
- TOWNSEND, C.R., BEGON, M. & J.L. HARPER (2008): Essentials of Ecology. Blackwell: Oxford
- TOWNSEND, C.R., BEGON, M. & J.L. HARPER (2009): Ökologie. Springer: Berlin
- TSUJIMURA, M., ONDA, Y. & J. ITO (2001): Stream water chemistry in a steep headwater basin with high relief. In: Hydrological Processes 15, pp.1847-1858
- TUXEN, S.L. (1944): The hot springs, their animal communities and their zoogeographical significance. Einer Munksgard: Kopenhagen. (= The Zoology of Iceland Vol.1, Part 2)

- ULRICH, B. (1981): Theoretische Betrachtung des Ionenkreislaufs in Waldökosystemen. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 144, S.647-659
- UNTERWEG, T. & A. SCHWENDT (1994): Blockgletscher und Quellen in den Niederen Tauern. In: Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft 87, S.47-55
- URBANAIČ, G., TOMAN, M.J. & C. KRUSNIK (2005): Microhabitat type selection of caddiesfly larvae (Insecta: Trichoptera) in a shallow lowland stream. In: Hydrobiologia 541, pp.1-12
- VAN DER KAMP, G. (1995): The Hydrogeology of Springs in Relation to the Biodiversity of Spring Fauna: A Review. In: Journal of the Kansas Entomological Society 68 (2) supplement, pp.4-17
- VAN EVERDINGEN, R.O. (1991): Physical, chemical, and distributional aspects of Canadian springs. In: WILLIAMS, D.D. & H.V. DANKS (Eds.) (1991): Arthropods of springs, with particular reference to Canada. Memoirs of the Entomological Society of Canada No. 155, pp.7-28
- VANNOTE, R. L., MINSHALL, G. W., CUMMINS, K. W., SEDELL, J. R. & C. E. CUSHING (1980): The river continuum concept. In: Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37, pp.130-137
- VAUGHAN, I.P., DIAMOND, M., GURNELL, A.M., HALL, K.A., JENKINS, A., MILNER, N.J., NAYLOR, L.A., SEAR, D.A., WOODWARD, G. & S.J. ORMEROD (2009): Integrating ecology with hydromorphology: a priority for river science and management. In: Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 19, pp.113-125
- VOLK, M. & U. STEINHARDT (1999a): Probleme bei der Ableitung dimensionsspezifischer Parameter und Indikatoren für mesoskalige Landschaftsbewertungen. In: STEINHARDT, U. & M. VOLK (Hrsg.): Regionalisierung in der Landschaftsökologie, S. 129-138. Teubner: Stuttgart, Leipzig
- VOLK, M. & U. STEINHARDT (1999b): Regionalisierung in der Landschaftsökologie – Stand der Forschung: Offene Fragen, Trends und Lösungsansätze. In: STEINHARDT, U. & M. VOLK (Hrsg.): Regionalisierung in der Landschaftsökologie, S. 11-16. Teubner: Stuttgart, Leipzig
- VON FUMETTI, S., NAGEL, P. & B. BALTES (2007): Where a springhead becomes a springbrook – a regional zonation of springs. In: Fundamental and Applied Limnology (Archiv für Hydrobiologie) 169, S.37-48
- VON FUMETTI, S., NAGEL, P., SCHEIFHACKEN, N. & B. BALTES (2006): Factors governing macrozoobenthic assemblages in perennial springs in north-western Switzerland. In: Hydrobiologia 568, pp.467-475
- VON PAPE, W.-P. (2009): Temperatur von Quellwässern – langjährige Temperaturtrends. In: HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2009): Jahresbericht 2008 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, S.69-73. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden
- VÖTT, A. (2000): Die Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit im Unterspreewald als Folge menschlicher Eingriffe. In: Geoökologie 21, S.253-283
- VOUK, V. (1948): Thermal-vegetation and ecological-valences theory. In: Hydrobiologia 1, pp.90-95
- WARD, J.V. (1994): Ecology of alpine streams. In: Freshwater Biology 32, pp.277-294
- WEBB, D.W., WETZEL, M.J., REED, P.C. PHILLIPPE, L.R. & M.A. HARRIS (1995): Aquatic Biodiversity in Illinois Springs. In: Journal of the Kansas Entomological Society 68 (2) supplement, pp. 93-107
- WENZ, E. (1974): Landschaft im Wandel der Zeiten. In: SAUER, J.H. (Hrsg.) (1974): Die Rhön. Grenzland im Herzen Deutschlands, S.52-71. Parzeller: Fulda

- WERUM, M. (2001): Die Kieselalpengesellschaften in Quellen. Abhängigkeit von Geologie und anthropogener Beeinflussung in Hessen (Bundesrepublik Deutschland). Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wiesbaden
- WEY, H. (1988): Die Vegetation von Quellgebieten im Raum Trier und ihre Beeinflussung durch land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung der Einzugsgebiete. Schweizerbart: Stuttgart. (= Dissertationes Botanicae, Bd.125)
- WHITE, P.S. & S.T.A. PICKETT (1985): Natural Disturbance and Patch Dynamics: An Introduction. In: PICKETT, S.T.A. & P.S. WHITE (Eds.) (1985): The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Academic Press: San Diego et al.
- WHITTAKER, R.H. & S.A. LEVIN (Eds.) (1975): Niche, theory and application. Dowden, Hutchinson and Ross: Stroudsburg
- WIEGAND, K. (1977): Die geologischen, hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse des Vogelsberges (Hessen). In: Geologisches Jahrbuch Hessen 105, S.177-184
- WIENRÖDER, C. (2009): Kulturlandschaft Hessische Rhön – Bestandsaufnahme, Perspektiven, Handlungsbedarf. In: Beiträge Region und Nachhaltigkeit, 5/2008, S.77-82
- WILHELM, F. (1956): Physikalisch-chemische Untersuchungen an Quellen in den bayrischen Alpen und im Alpenvorland. In: Münchner Geographische Hefte, H.10, S.1-97
- WILLIAMS, D.D. & H.V. DANKS (Eds.) (1991): Arthropods of springs, with particular reference to Canada. The Entomological Society of Canada: Ottawa. (= Memoirs of the Entomological Society of Canada 155)
- WILLIAMS, D.D. & N. E. WILLIAMS (1996): Springs and Spring Faunas in Canada. In: Crunoecia 5, 13-24
- WILLIAMS, D.D. & N. E. WILLIAMS (1998): Invertebrate communities from freshwater springs: what can they contribute to pure and applied ecology? In: BOTOSANEANU, L. (Ed.) (1998): Studies in Crenobiology. The biology of springs and springbrooks, pp.251-261. Backhuys Publishers: Leiden
- WILLIAMS, D.D. & N. E. WILLIAMS (1999): Canadian Springs: postglacial development of the invertebrate fauna. In: BATZER, D.P., RADER, R.B. & S.A. WISSINGER (Eds.) (1999): Invertebrates in Freshwater Wetlands of North America. Ecology and Management. Wiley & Sons: New York
- WILLIAMS, D.D. (1991): The spring as an interface between groundwater and lotic faunas and as a tool in assessing groundwater quality. In: Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 24, pp.1621-1624
- WILLIAMS, D.D., WILLIAMS, N.E. & Y. CAO (1997): Spatial differences in macroinvertebrate community structure in springs in southeastern Ontario in relation to their chemical and physical environments. In: Canadian Journal of Zoology 75, p.1404-1414
- WILMANN, O. (1998): Ökologische Pflanzensoziologie. Quelle & Meyer: Wiesbaden
- WOHLRAB, B., ERNSTBERGER, H., MEUSER, A. & V. SOKOLLEK (1992): Landschaftswasserhaushalt. Wasserkreislauf und Gewässer im ländlichen Raum. Veränderungen durch Bodennutzung, Wasserbau und Kulturtechnik. Parey: Hamburg et al.
- WRRL-VIEWER = HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (Hrsg.)(o.J.): Wasserrahmenrichtlinien-Viewer. URL: <http://wrml.hessen.de/>

- ZAENKER, S. (2001): Das Biospeläologische Kataster von Hessen. Die Fauna der Höhlen, künstlichen Hohlräume und Quellen. Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher: München (= Abhandlungen zur Karst- und Höhlenkunde 32)
- ZAWAL, A. (2010): Water mites (Hydrachnidia) of small water reservoirs in the neighbourhood of Świnoujście (NW Poland). In: *Natura Montenegrina, Podgorica*, 9(3), pp.441-449
- ZECHMEISTER, H. & L. MUCINA (1994): Vegetation of European springs: High-rank syntaxa of the Montio-Cardaminea. In: *Journal of Vegetation Science* 5, pp.385-402
- ZOLLHÖFER, J.M. (1997): Quellen – die unbekannten Biotope im Schweizer Jura und Mittelland – erfassen – bewerten – schützen. Bristol-Stiftung: Zürich. (= Bristol-Schriftenreihe, Band 6)
- ZOLLHÖFER, J.M., BRUNKE, M. & T. GONSER (2000): A typology of springs in Switzerland by integrating habitat variables and fauna. In: *Archiv für Hydrobiologie, Supplement* 121, pp.349-376

### Bestimmungsliteratur

- CHRISTIAN, E. & A. ZICSI (1999): Ein synoptischer Bestimmungsschlüssel der Regenwürmer Österreichs (Oligochaeta: Lumbricidae). In: *Die Bodenkultur* 50, S.121-131
- EISELER, B. (2005) Bildbestimmungsschlüssel für die Eintagsfliegenlarven der deutschen Mittelgebirge und des Tieflandes. In: *Lauterbornia* 53, S.1- 112
- FRANKE, U. (1979): Bildbestimmungsschlüssel mitteleuropäischer Libellen-Larven (Insecta: Odonata). In: *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde Serie A*, 333: 1-17
- GLÖER, P. & C. MEIER-BROOK (2003): Süßwassermollusken. Ein Bestimmungsschlüssel für die Bundesrepublik Deutschland. Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung: Hamburg
- HENNIG, W. (1948): Die Larvenformen der Dipteren. Eine Übersicht über die bisher bekannten Jugendstadien der zweiflügeligen Insekten. 1. Teil. Akademie-Verlag: Berlin
- HENNIG, W. (1950): Die Larvenformen der Dipteren. 2. Teil. Akademie-Verlag: Berlin
- KLAUSNITZER, B. (1996): Käfer im und am Wasser. Westarp Wissenschaften: Magdeburg. (= Die Neue Brehm-Bücherei 567)
- REYNOLDSON, T.B. & J.O. YOUNG (2000): A Key to the Freshwater Triclad of Britain and Ireland with Notes on Their Ecology. Freshwater Biological Association Scientific Publication 58, pp.1-72
- SCELLENBERG, A. (1942): Flohkrebse oder Amphipoda. In: DAHL, F. (Hrsg.) (1942): Tierwelt Deutschlands. Band 40. Gustav Fischer Verlag. Jena
- STÖKL, H. & R. VÖLKER (2007): Amphibien und Reptilien. Bestimmungsschlüssel für Amphibien und Reptilien in Deutschland, sowie für Larven und Laich. Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung: Hamburg
- SUNDERMANN, A. & S. LOHSE (2004): Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Zweiflügler (Diptera) in Anlehnung an die Operationelle Taxaliste für Fließgewässer in Deutschland. Projektdokumentation unter <http://www.fliessgewaesserbewertung.de>



- WARINGER, J. & W. GRAF (1997): Atlas der österreichischen Köcherfliegenlarven unter Einschluß der angrenzenden Gebiete. Facultas-Universitätsverlag: Wien
- WARINGER, J. & W. GRAF (2004): Ergänzungen und Berichtigungen zum „Atlas der österreichischen Köcherfliegenlarven unter Einschluß der angrenzenden Gebiete“. Facultas-Universitätsverlag: Wien
- ZWICK, P. (2004): Key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. In: Limnologica 34, pp.315-348

## Kartenverzeichnis

1. Beiblatt zur GK 25 4820 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (1973): 1. Beiblatt zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt 4820 Bad Wildungen, Tektonische Karte
- Beiblatt zur GK 25 5018 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (1985): Geologische Karte von Hessen 1:25.000 Blatt 5018 Wetter (Hessen)
- BK 50 L 4920 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2002): Bodenkarte von Hessen 1:50.000 L 4920 Fritzlar
- BK 50 L 5118 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2002): Bodenkarte von Hessen 1:50.000 L 5118 Marburg
- BK 50 L 5316 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2002): Bodenkarte von Hessen 1:50.000 L 5316 Gladenbach
- BK 50 L 5318 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2002): Bodenkarte von Hessen 1:50.000 L 5318 Amöneburg
- BK 50 L 5520 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2002): Bodenkarte von Hessen 1:50.000 L 5520 Schotten
- BK 50 L 5524 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2002): Bodenkarte von Hessen 1:50.000 L 5524 Fulda
- Bodengeologische Konzeptkarte Blatt L4928 Bad Langensalza = THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Plotdatum 26.01.2010): Digitale Bodengeologische Konzeptkarte Blatt L4928 Bad Langensalza
- DBK 50 L 4928 = THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (Plotdatum 26.1.2010): Digitale Bodengeologische Konzeptkarte von Thüringen 1:50.000. Blatt L 4928 Bad Langensalza
- GK 25 4820 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (1973): Geologische Karte von Hessen 1:25.000 Blatt 4820 Bad Wildungen
- GK 25 5018 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (1985): Geologische Karte von Hessen 1:25.000 Blatt 5018 Wetter (Hessen)
- GK 25 5317 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (1971): Geologische Karte von Hessen 1:25.000 Blatt 5317 Rodheim-Bieber

- GK 25 5421 = HESSISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT (1931): Geologische Karte von Hessen [1:25.000] Blatt [5421] Ulrichstein
- GK 25 5425 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (1994): Geologische Karte von Hessen 1:25.000 Blatt 5425 Kleinsassen
- GÜK 300 HESSEN = HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (1989): Geologische Übersichtskarte von Hessen 1:300.000, 4. neu bearbeitete Auflage
- Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 4918 Frankenberg = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002): Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 4918 Frankenberg
- Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 4920 Fritzlar = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002): Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 4920 Fritzlar
- Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 5118 Marburg = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002): Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 5118 Marburg
- Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 5316 Gladenbach = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002): Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 5316 Gladenbach
- Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 5318 Amöneburg = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002): Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 5318 Amöneburg
- Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 5520 Schotten = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002): Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 5520 Schotten
- Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 5524 Fulda = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002): Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung 1:50.000 Blatt L 5524 Fulda
- MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J., GELLERT, J.F., NEEF, E., MÜLLER-MINY, H. & J.-H.: SCHULTZE (1960): Verwaltungsgrenzenkarte von Deutschland mit naturräumlicher Gliederung. Maßstab 1:1.000.000. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung: Bad Godesberg
- TK 25 4820 = HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENMANAGEMENT UND GEOINFORMATION (1994): Topographische Karte 1:25.000 Blatt 4820 Bad Wildungen
- TK 25 5018 = HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (1999): Topographische Karte 1:25.000 Blatt 5018 Wetter (Hessen)
- TK 25 5421 = HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (1995): Topographische Karte 1:25.000 Blatt 55421 Ulrichstein
- TK 25 5425 = HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (1998): Topographische Karte 1:25.000 Blatt 5425 Kleinsassen
- TK 50 L 4928 = LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION (2005): Topographische Karte 1:50.000 Blatt L 4928 Bad Langensalza
- Vulkanologische Karte der Wasserkuppenrhön (2002) = HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002): Vulkanologische Karte der Wasserkuppenrhön 1:15.000

**Anhang**

Kartierbögen (3 Seiten)

Legende der Karte: Standorttypisierung für die Biotopentwicklung (HLUG) (1 Seite)

Eidesstattliche Erklärung (1 Seite)

Lebenslauf (2 Seiten)

# Quellerfassungsbogen – Allgemeine Basisangaben / Oro-Hydrographie / Umfeld

Objekt-Nr.: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_ Uhrzeit: \_\_\_\_\_ Witterung: \_\_\_\_\_

GPS: r: \_\_\_\_\_ h: \_\_\_\_\_ Genauigkeit: \_\_\_\_\_

Objektfotos (Anzahl): \_\_\_\_\_

## Skizze

## Geländebeschreibung

Lage der Quelle:

- ☐ Hochebene, Kuppe ☐ Oberhang ☐ Mittelhang  
☐ Unterhang ☐ Aue, Tiefebene

Geländeneigung:

- ☐ schwach 0-2° ☐ mäßig 2-7° ☐ stark 7-15°  
☐ schroff >15°

Hangexposition: \_\_\_\_\_





Abflussrichtung: \_\_\_\_\_

## Umfeld / Waldstrukturen





Kronenschluss (Beschattung): ☐ voll ☐ teilweise ☐ kein

Lichtgenuss: \_\_\_\_\_ lux





Waldformation:

	10-50%	> 50%		10-50%	> 50%		10-50%	> 50%		10-50%	> 50%
Quell-/Bruchwald			Quell-/Bruchwald			Quell-/Bruchwald			Quell-/Bruchwald		
Laubwald			Laubwald			Laubwald			Laubwald		
Mischwald > L			Mischwald > L			Mischwald > L			Mischwald > L		
Mischwald > N			Mischwald > N			Mischwald > N			Mischwald > N		
Nadelwald			Nadelwald			Nadelwald			Nadelwald		

Waldgesellschaft (Dominierende Baumarten):

Weitere Landnutzungsmuster / Biotope:

	10-50%	> 50%		10-50%	> 50%		10-50%	> 50%		10-50%	> 50%
Rodung / Hieb			Rodung / Hieb			Rodung / Hieb			Rodung / Hieb		

## Vor-Ort-Analytik – Messungen (in-situ)

Lufttemperatur: \_\_\_\_\_ °C Wassertemperatur: \_\_\_\_\_ °C pH: \_\_\_\_\_  
 Leitfähigkeit: \_\_\_\_\_ µS/cm Sauerstoffgehalt: \_\_\_\_\_ mg/l O2-Sättigung: \_\_\_\_\_ %  
 Geruch: \_\_\_\_\_ Geschmack: \_\_\_\_\_ Färbung: \_\_\_\_\_ Trübung: \_\_\_\_\_  
 Teststreifen: \_\_\_\_\_

Objekt-Nr.: Datum: Uhrzeit: Witterung:

Arealgröße: m<sup>2</sup> ☐ Helokrene ☐ Rheokrene ☐ Limnokrene ☐ Gefasste Quelle ☐ Mischtyp:

Sondertyp: ☐ Thermalquelle ☐ Solquelle ☐ Eisenocker ☐ Kalktuff ☐ Blockschutt ☐ Sontiges: \_\_\_\_\_

Subtyp Umgebung: ☐ Wald, Forst ☐ Waldrand ☐ Lichtung ☐ Feldgehölz ☐ Sontiges:

Anordnung: ☐ Einzelquelle ☐ Quellgruppe ☐ diffuser Austritt (Blänke, Nassstelle) ☐ Sontiges: \_\_\_\_\_

Quellgeomorphologie: ☐ Quellmulde, deutliche Eintiefung ☐ Quellmulde, im Ansatz ☐ keine Quellmulde

□ Sontiges: \_\_\_\_\_

Feuchtegrad: ☐ ständig schüttend ☐ ständig feucht ☐ fällt trocken

Messung möglich:                    l/s                    Methode:

Strömungstyp: ☐ turbulente Strömung ☐ laminare Strömung

Schüttung: ☐ stehendes Wasser ☐ gering ☐ deutlich quellend ☐ stark, schießend

Substratvielfalt (= Anzahl Substrattypen):

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
gering					mittel				hoch							

### Skizze Quellmorphologie (Schnitt)

Sichtbare, oberste Substratauflage (SA) – Deckungsgrad (DG) – 100% = Arealgröße Quellbereich – PD: Probendose

☐ Feinsubstrat trennbar in Sand und Ton/Schluff (1)      ☐ Feinsubstrat nicht trennbar (= Lehm / Schlamm) (2)

Verhältnis Fein- zu Grobmaterial (Dominanz): \_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_ Verhältnis aquatisch (**a**) : semiaquatisch (**b**): \_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_

Kornverteilung: ☐ > Gemenge ☐ > Sortierung / hygropetr. Bereiche (c): ☐ gering ☐ deutlich / ☐ Diatomeen sichtbar

## Mineralische Substrate

	0 %	< 5 %	DG in 5%-Stufen	Anzahl TP	Probenbeschriftung	PD 1	PD 2	dominant in a	dominant in b	dominant in c	Bemerkung
		x				x	x	x	x	x	z.B. Mächtigkeit, Durchmischung
Argyllal (Ton, Schluff)					Objekt-Nr. – TP 01						
Psammal (Sand)					Objekt-Nr. – TP 02						
Psammopelal (Lehm)					Objekt-Nr. – TP 03						
Akal (Fein, Mittelkies)					Objekt-Nr. – TP 04						
Mikrolithal (Grobkies)					Objekt-Nr. – TP 05						
Mesolithal					Objekt-Nr. – TP 06						
Makrolithal					Objekt-Nr. – TP 07						
Megalithal					Objekt-Nr. – TP 08						
Offener Verbau					Objekt-Nr. – TP 09						
Geschlossener Verbau											
Mischprobe (< 5 %)		Σ			Objekt-Nr. – TP 10						
			100 %	20							

## Organische Substrate

	0 %	< 5 %	DG in 5%-Stufen	Anzahl TP	Probenbeschriftung	PD	dominant in a	dominant in b	dominant in c	Bemerkung
		x				x	x	x	x	Mächtigkeit, Durchmischung, etc.
Makrophyten, emers					Objekt-Nr. – TP 11					
Makrophyten, submers					Objekt-Nr. – TP 12					
Moospolster					Objekt-Nr. – TP 13					
Durchspülte Feinwurzeln					Objekt-Nr. – TP 14					
Xylal					Objekt-Nr. – TP 15					
CPOM, Falllaub					Objekt-Nr. – TP 16					
Nadelstreu					Objekt-Nr. – TP 17					
FPOM					Objekt-Nr. – TP 18					auf:
Algen					Objekt-Nr. – TP 19					
Ohne Auflage					-----					
Mischprobe (< 5 %)		Σ			Objekt-Nr. – TP 20					
			100 %	20						

Megalithal	> 40 cm
Makrolithal	> 20 cm – 40cm
Mesolithal	> 6 cm – 20 cm
Mikrolithal	> 2 cm – 6 cm
Akal	> 0,2 cm – 2 cm
Psammal/Psammopelal	> 6 µm – 0,2 cm

Oberseite großer Steine/Blöcke, anstehender Fels  
kopfgroße Steine, mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen  
faustgroße Steine, mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen  
Grobkies = taubenei- bis kinderfaustgroß, mit variablem Anteil kleinerer Korngrößen  
Fein- und Mittelmies  
Sand und/oder (mineralischer) Schlamm

**Σ PD:**



# Quellerfassungsbogen – Gefährdung (Quellaustritt)

Objekt-Nr.: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_ Uhrzeit: \_\_\_\_\_ Witterung: \_\_\_\_\_

## Quellaustritt

ggf. Deckungsgrade (in %) angeben

Nutzung: ☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_  
Einleitung: ☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_  
Verfüllung: ☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_  
Veränderungen: ☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_  
Verbau: ☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_  
Trittschäden: ☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_  
Fahrspuren: ☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_  
Rodung: ☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_  
Wanderbarrieren: ☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_

Nähe zu Verkehrsflächen: -20m -50m -100m  
☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_ ☐ ☐ ☐  
Nähe zu Gebäuden: -20m -50m -100m  
☐ keine ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_ ☐ ☐ ☐  
Aufstau: -25% -50% >50%  
☐ kein ☐ vorhanden: \_\_\_\_\_ ☐ ☐ ☐

## Vegetation – Quellflur

Objekt-Nr.: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_ Uhrzeit: \_\_\_\_\_ Witterung: \_\_\_\_\_

Schicht	M	Kr	Hst	Str1	Str2	B1	B2	B3
Deckung %								
Schichthöhe								

M: Moos – Kr: niedrige Kräuter – Hst: Hochstauden  
Str1,2: Sträucher – B1,2,3: Baum

vegetationslos: \_\_\_\_\_ %

	Deckung (%)	Taxon	Probennahme (Nr.)
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

## Fauna

Massenvorkommen vermerken:

☐ Gammariden ☐ Strudelwürmer ☐ Quellschnecken ☐ Köcherfliegenlarven ☐ Niphargus  
☐ \_\_\_\_\_ ☐ \_\_\_\_\_ ☐ \_\_\_\_\_ ☐ \_\_\_\_\_ ☐ \_\_\_\_\_  
☐ \_\_\_\_\_ ☐ \_\_\_\_\_ ☐ \_\_\_\_\_ ☐ \_\_\_\_\_ ☐ \_\_\_\_\_

Bemerkungen (auch Maßnahmenvorschlag):

## Legende zur Karte der Standorttypisierung für die Biotopentwicklung (HLUG)

### Extrem wasserbeeinflusste Standorte

1 nährstoffreiche, organogene Substrate

2 nährstoffarme, organogene Substrate

### Standorte mit potentieller Auendynamik

3 Standorte im potentiellen Überflutungsbereich von Auen

4 Standorte im potentiellen Überflutungsbereich von Auen mit Grundwassereinfluß

### Grundwasserbeeinflusste Standorte

5 Standorte mit potentiell starkem Grundwassereinfluß

6 Standorte mit potentielltem Grundwassereinfluß im Unterboden

### Wechselfeuchte Standorte

7 Standorte mit potentiell sehr starkem Stauwassereinfluß

8 Standorte mit potentielltem Stauwassereinfluß

### Trockenstandorte

physiologisch extrem trockene Standorte

9 mit schlechtem bis mittleren nat. Basenhaushalt

10 mit gutem nat. Basenhaushalt

physiologisch trockene Standorte

11 mit schlechtem bis mittleren nat. Basenhaushalt

12 mit gutem nat. Basenhaushalt

physiologisch trockene Standorte auf Flug- und Terrassensand

13 mit schlechtem bis mittleren nat. Basenhaushalt

14 mit gutem nat. Basenhaushalt

### Standorte mit ausgeglichenem Wasserhaushalt

Standorte mit geringem Wasserspeichungsvermögen

15 mit schlechtem bis mittleren nat. Basenhaushalt

16 mit gutem nat. Basenhaushalt

Standorte mit mittlerem Wasserspeichungsvermögen

17 mit schlechtem bis mittleren nat. Basenhaushalt

18 mit gutem nat. Basenhaushalt

Standorte mit hohem Wasserspeichungsvermögen

19 mit schlechtem bis mittleren nat. Basenhaushalt

20 mit gutem nat. Basenhaushalt

Martin Reiss  
Ockershäuser Allee 50  
35037 Marburg  
Tel.: 06421-481997  
reissm@staff.uni-marburg.de

Marburg, 05.02.2011

### Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbst und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Ich habe nicht andere als die in dieser Dissertation angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt, alle vollständig oder sinngemäß übernommenen Zitate als solche gekennzeichnet sowie die Dissertation in der vorliegenden oder ähnlichen Form noch an keiner anderen in- oder ausländischen Hochschule anlässlich eines Promotionsgesuchs oder zu anderen Prüfungszwecken eingereicht.



Martin Reiss

# LEBENS LAUF

## Wissenschaftliche Ausbildung

---

### PERSÖNLICHE ANGABEN

#### Martin Reiss

Ockershäuser Allee 50  
35037 Marburg  
06421-481997  
reissm@staff.uni-marburg.de  
geboren am 25. Dezember 1968 in Berlin  
verheiratet, 2 Kinder

---

### KURZPROFIL

Studium der Geographie  
Schwerpunkt Physische Geographie  
Ausbildung zum Landschaftsgärtner

---

### PROMOTION

Seit 2007	Philipps-Universität Marburg Fachbereich Geographie Wissenschaftlicher Mitarbeiter Arbeitsgruppe Prof. Dr. Christian Opp
-----------	---

---

### BERUFSTÄTIGKEIT

2002 – 2007	Freiberufliche Tätigkeit als Diplom-Geograph (Landschaftsplanung, Gewässerrenaturierung, ökologische Gutachten)
-------------	---

---

### STUDIUM

1998 – 2002	Philipps-Universität Marburg Studium der Geographie Nebenfächer: Geologie, Biologie (Schwerpunkt Botanik) Thema der Diplomarbeit: Zur Erfassung und Bewertung von Quellen, dargestellt an einem Beispielsgebiet im Hohen Vogelsberg Abschluss: Diplom in Geographie
1996 - 1998	Eberhard-Karls-Universität Tübingen Studium der Geographie Nebenfächer: Geologie, Biologie (Schwerpunkt Botanik) Vordiplom in Geographie

1995 - 1996      Fachhochschule Nürtingen  
Studium der Landespflege  
Zwischenprüfung

---

#### **BERUFSAUSBILDUNG & BERUFSTÄTIGKEIT**

1989 – 1992      Ausbildung mit erfolgreichem Abschluss zum  
Landschaftsgärtner in Berlin  
1992 – 1993      Berufstätigkeit als Landschaftsgärtner in Berlin

---

#### **ABITUR**

1988              Allgemeine Hochschulreife an der Theodor-Heuss-  
Schule in Berlin-Wedding

Marburg, 05.02.2011